



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE TVRDÉHO PÁJENÍ WC ZRN

APPLICATION OF WC GRAINS BY BRAZING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Izák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marián Sigmund, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Josef Izák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Marián Sigmund, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aplikace tvrdého pájení WC zrn

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tvrdé nánosové pájení / navařování je metoda používaná v řadě odvětví speciálně pro navařování/nanášení tvrdokovových vrstev například v těžebním a dřevozpracujícím průmyslu na otěruvzdorné nebo řezné plochy. Konkrétně aplikace WC (wolfram/karbidových zrn) je jeden z nejtvrděších povlaků/vrstev které se danou technologií dají navařit.

Cíle bakalářské práce:

1. Zhodnotit současný stav aplikace tvrdého pájení WC zrn.
2. Vypracovat literární rešerži na danou metodu tvrdého pájení.
3. Vyhodnotit parametry a podmínky nutné pro kvalifikaci páječe a pájeného svarového spoje.
4. Navrhnout parametry pro experimentální ověření.
5. Provést a vyhodnotit experiment.

Seznam doporučené literatury:

KUDĚLKA, Vladimír. Tvrdé pájení, 1. vyd. TESIČKA s.r.o., Brno, 2014, 47 s. ISBN 978-80-87102-03-9.

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování, 1. vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009.

FOLDYNA, Václav. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

AMBROŽ, Oldřich. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

IZÁK Josef: Aplikace tvrdého pájení WC zrn

Bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení stavu pájení součásti odkorňovacího nože. Pájka obsahující zrna WC je nanášena na ZM z důvodu zvýšení tvrdosti nože. Nanášená pájka se zrna nenavýšuje jen tvrdost, ale také několikanásobně zvyšuje životnost těchto nožů. Využívaná technologie pájení pro nanesení vrstvy pájky s WC zrna je kyslíko - acetylenový plamen. Budou zkoumány dvě nanášené vrstvy. Pro vyhodnocení nanášeného spoje byly navrženy experimentální ověření. Nejprve se provede vizuální zkouška a následně destruktivní zkoušky („mikrotvrdost“, makrostruktura, mikrostruktura, SEM a EDS analýza). Nakonec byla navržena dle normy kvalifikace páječe a zkoušky pájeného spoje.

Klíčová slova: karbid wolframu, tvrdé pájení, pájení plamenem, odkorňovací nůž

ABSTRACT

IZÁK Josef: Application of WC grains by brazing

Bachelor thesis is aimed to assessment condition of brazing component barking plate. Solder contains grains of tungsten carbide is applied on steel due to raise hardness of plate. Applied solder with grains, does not only raise the hardness, but also multiply increase lifetime of plate. Technology, which is used to brazing, is oxy – acetylene flame. It will be examined two type of solder. In the first it is provided optical exam and then destruction exams (micro hardness, macrostructure, microstructure, SEM and EDS analysis). In the end It was proposed qualifications of brazer and exams of brazing join.

Keywords: tungsten carbide, brazing, flame brazing, barking plate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

IZÁK, Josef. *Aplikace tvrdého pájení WC zrn*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/113036>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marián Sigmund.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 22. 5. 2019

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Ústavu materiálových věd a inženýrství za umožnění provedení experimentu na elektronovém mikroskopu. Paní Ing. Dině Kičmerové, Ph.D. za pomoc při vyhodnocování výsledků z elektronového mikroskopu. Panu Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. za pomoc při vyhodnocování tvrdosti. Panu Ing. Petru Bořilovi za nařezání vzorku a pomoc se zpracováním a vyhodnocením makrostruktury a mikrostruktury. Také bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu během studia.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	8
1 ROZBOR SOUČÁSTI	9
2 TECHNOLOGIE TVRDÉHO PÁJENÍ WC ZRN	10
2.1 Klasifikace pájení WC zrn	10
2.2 Navařování plamenem	11
2.2.1 Svařovací zařízení	11
2.2.2 Tlakové láhve a použitý plyn	12
2.2.3 Svařovací plamen	12
2.2.4 Technika navařování, svařovací hořák a nástavce	13
2.3 Další možné metody z hlediska navařování WC zrn	14
3 ZHODNOCENÍ MATERIÁLŮ A PARAMETRŮ	17
3.1 Základní materiál a jeho svařitelnost	17
3.2 Předehřev	18
3.2.1 Teplota předehřevu.....	19
3.3 Karbid wolframu (WC).....	20
3.3.1 Výroba prášku	21
3.3.2 Druhy tvaru zrn karbidu - wolframu	21
3.3.3 Nanášené druhy WC zrn	23
3.4 Tavidlo.....	24
3.5 Kvalifikace páječe a pájeného spoje	25
4 NÁVRH A PROVEDENÍ EXPERIMENTU	26
4.1 Vizuální zkouška.....	26
4.2 Zkouška tvrdosti dle Vickerse	26
4.3 Zkouška mikrostruktury a makrostruktury	27
4.4 Mikroanalýza chemického složení a SEM.....	28
4.5 Příprava vzorku pro provedení zkoušek	29
4.6 Vyhodnocení mikrotvrdosti	31
4.7 Vyhodnocení makrostruktury	33
4.8 Vyhodnocení mikrostruktury	34
4.9 Vyhodnocení snímků SEM a mikroanalýzy	37

5 ZÁVĚRY 40

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

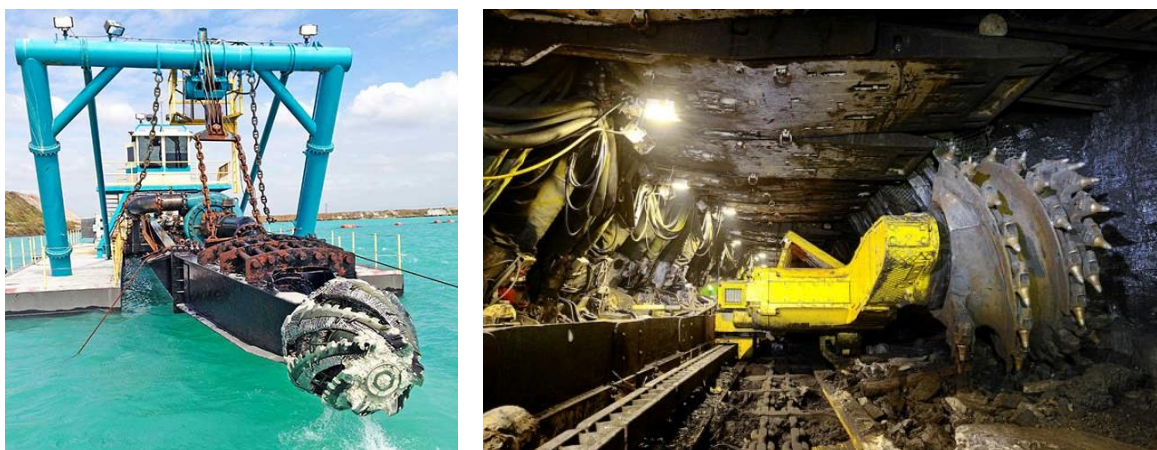
Seznam výkresů

ÚVOD [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

Technologie pájení je nejstarší metodou spojování železných a neželezných kovů, ke kterému se využívá tepelného zdroje. Jedná se o nerozebíratelný spoj. Nejprve se pájelo zlato a po něm postupně i další kovy. Výhodou spojování pomocí pájení je možnost spojit materiály různého chemického složení a fyzikálních vlastností, například žáruvzdorných, žárupevných, korozivzdorných ocelí, apod.

Technologie pájení není využívána jen ke spojování dvou, či více materiálů, ale i k navařování / nanášení speciálních vrstev. Standardně se používají návary s vysokým obsahem uhlíku, chromu a dalších legujících prvků.

V současné době jsou spíše prosazovány technologie tvrdého nánosového pájení, které patří mezi progresivní metody nanášení „tvrdokovových“ vrstev v podobě WC zrn. Výhodou wolfram karbidového návaru je životnost návaru, která je několikanásobně vyšší, než u standardních návarů (C, Cr, další legujících prvků) a to i, co se týče ekonomické stránky. Konkrétně aplikace wolfram karbidové vrstvy je jeden z nejtvrdších povlaků, které můžeme technologií plamenového svařování navařit. Využití nachází například v těžebním, dřevo zpracovávajícím průmyslu, kde je třeba zlepšit ořezavost, nebo řezné plochy.



Obr. 1 Aplikace pájení WC zrn [7], [8]



Obr. 2 Odkorňovač [6]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [9], [10]

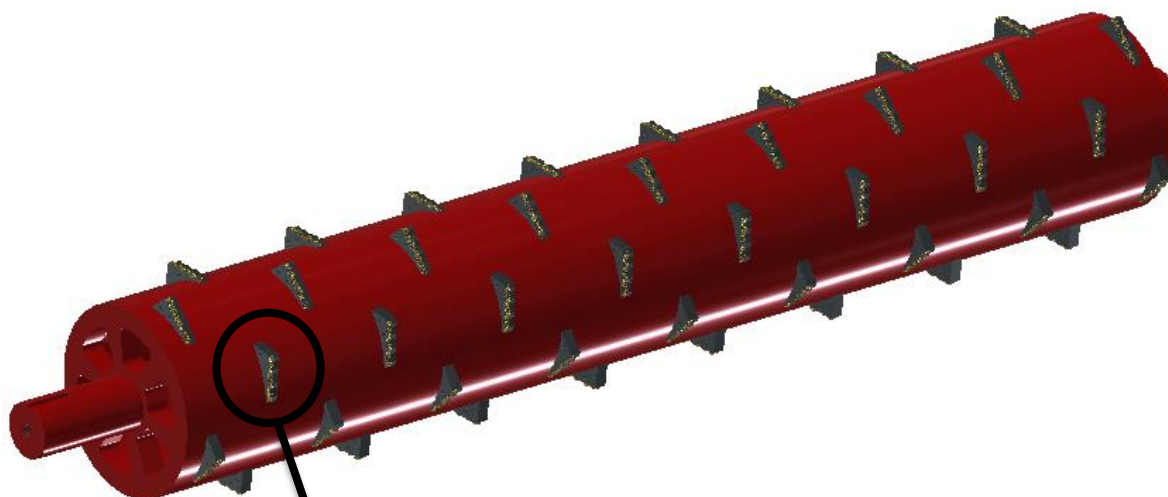
Součást, která bude předmětem práce, je odkorňovací nůž, který je zobrazen na obr. 4. Nože budou navařeny na hřídel bubnovitého tvaru zobrazeném na obr. 3.

Základní materiál na, který se bude wolfram – karbid nanášet je ocel S355 (ČSN 11 523). Je to běžná konstrukční (uhlíková) ocel s maximálním obsahem 0,20 % C, mezí pevnosti v tahu $R_m = (510 - 680)$ MPa a mez kluzu $R_e = 355$ MPa.

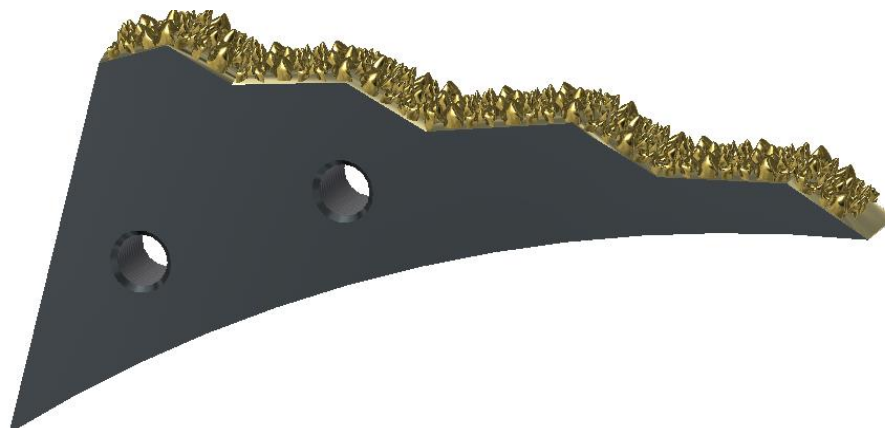
Odkorňovací nůž bude zhotoven jako výpalek z plechu s přídavkem na obrábění (frézování). Výkres odkorňovacího nože, na který se bude následně nanášet „tvrdokovová“ vrstva je přiložen ve výkresech pod označením BP-01.

Nanášený přídavný materiál, který se bude na odkorňovací nůž navařovat je dvojího druhu a to buď DURIT CS (tyčinka), nebo DURIT Ni A (trubička). Veškeré chemické a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v materiálovém listu v příloze.

Stroj, ve kterém jsou tyto hřídele s navařenými noži využívány, se nazývá odkorňovač, který můžeme vidět na obr. 2. Jeho účelem je zbavit stromy kůry, aby mohly být využity k dalším operacím.



Obr. 3 Hřídel bubnovitého tvaru



Obr. 4 Odkorňovací nůž s napájenými zrny DURIT CS

2 TECHNOLOGIE TVRDÉHO PÁJENÍ WC ZRN [4], [8], [11], [12]

Tvrđým pájením WC zrn se rozumí nanášení / pájení speciální vrstvy „tvrdokovu“ na měkkší materiál z důvodu zvýšení tvrdosti, odolnosti proti abrazi, korozivzdornosti, apod., jak je vidět na obr. 5. Každý druh přídavného materiálu zlepšuje jiné vlastnosti dané součástky. Pro nanesení vrstvy karbidu se využívá plamenového navařování, přesněji kyslíko – acetylenová souprava. Pojivo je v tomto případě nejčastěji Ni, Co, CuZn apod. Výhodou této technologie pájení je především možnost nanášet hrubší zrna WC. Velikost WC zrn se pohybuje i v řádu milimetrů.



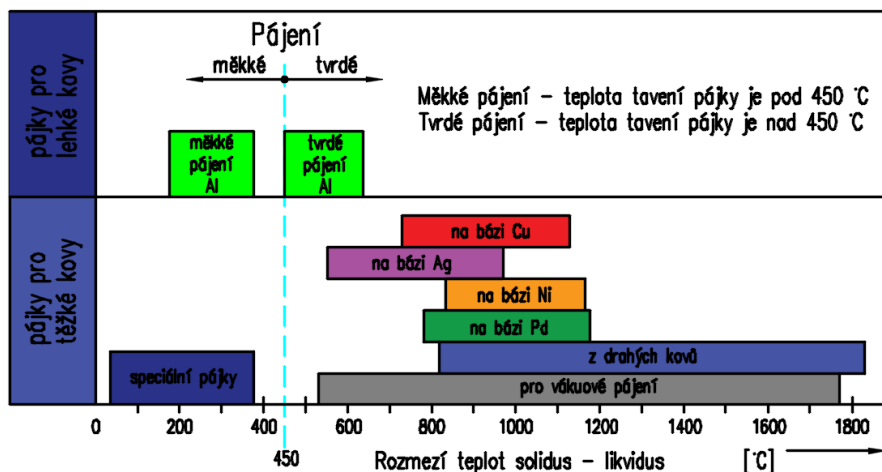
Obr. 5 Tvrđé pájení WC zrn typu DURIT CS [11]

2.1 Klasifikace pájení WC zrn [3], [4], [13], [14]

Pájením se rozumí spojování materiálů pomocí roztavené pájky (přídavného materiálu). Pájení, jako takové je metalurgický spoj materiálů, přičemž plochy nejsou nataveny, nýbrž smáčeny použitou pájkou. Tím se vytvoří podmínky pro vytvoření kovové vazby. V průběhu pájení může dojít k tzv. difuzi některých prvků pájky do základního materiálu.

Z hlediska klasifikace pájení se dá rozdělit dle několika znaků.

- Podle teploty pájení rozdělujeme pájení na:



Obr. 6 Rozdělení druhu pájení [13]

- Podle způsobu ohřevu je tvrdé pájení rozděleno na:
 - Pájení plamenem
 - Pájení v peci
 - Pájení ponorem
 - Pájení v solné lázni
 - Pájení indukční
 - Pájení ultrazvukem
 - Pájení odporové
 - Pájení ve vakuu

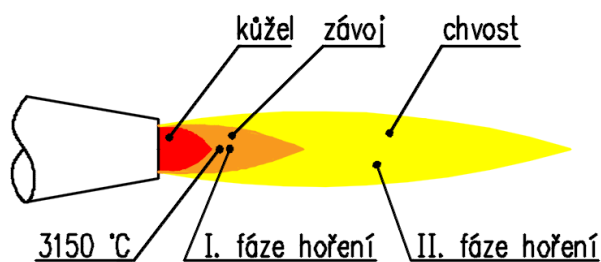
- Podle způsobu spojení rozdělujeme pájení na:
 - Spojovací
 - Nánosové /navaření
- Podle druhu a množství přísad na:
 - Slitiny s obsahem < 20 % neželezných kovů
 - Slitiny s obsahem > 20 % legujících prvků
 - Neželezné návarové slitiny
 - Karbidy

V případě této práce bude rozsah omezen na aplikaci tvrdého pájení plamenem, teplota pájky solidu se bude pohybovat nad teplotou 450 °C. Bude se jednat o nánosové pájení a přidávným materiálem bude karbid – wolfram.

2.2 Navařování plamenem [13], [15]

Technologie, při které se využívá tepla získaného hořením směsi oxidujícího plynu a hořlavého plynu. Nejčastěji používanou směsí plynu pro navařování tvrdých návarů bývá acetylen (hořlavý plyn) a kyslík (oxidující plyn). Jen velmi zřídka se využívá i jiných směsí plynů, jako například vodík, propan, butan, apod. Maximální teplota kyslíko – acetylenového plamene je přibližně 3150 °C, jak je znázorněno na obr. 7, hustota energie plamene se pohybuje okolo $50 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ a nejmenší plocha ohřevu $1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$.

Kyslík a acetylen se přivádí ze zdroje (tlaková láhev) do hořáku. Jakmile se smíchá směs obou plynů na výstupu hořáku, směs se zapálí a vznikne plamen, který se dá následně rozdělit do několika pásem, jak je znázorněno na obr. 7 (platí pro kyslíko – acetylenový plamen).



Obr. 7 Popis plamene [13]

2.2.1 Svařovací zařízení [12], [13], [16]

Svařovací zařízení, nebo svařovací souprava je celek všech prostředků, které potřebujeme k dané technologii navařování. Součástí soupravy lze rozdělit na následující části, jak je zobrazeno na obr. 8.

- Tlaková láhve
- Acetylenové bezpečnostní předlohy
- Lahvový ventil
- Redukční ventil
- Hadice
- Spořič plynu (není nutným vybavením soupravy)
- Pojistka proti zpětnému šlehnutí
- Svařovací hořák
- Pájecí nástavec na hořák



Obr. 8 Kyslíko – acetylenová souprava [16]

2.2.2 Tlakové láhve a použitý plyn [12], [17]

Plyn využívaný v případě navařování WC zrn se používá kyslík a acetylen. Barva láhví pro kyslík je modrá a pro acetylen je kaštanově hnědá, jak se vidět na obr. 8. Značení tlakových láhví odpovídá normě dle ČSN EN 1089 – 3.

- Kyslík
Chemická značka kyslíku O_2 . Bezbarvý plyn bez zápachu, podporuje hoření, avšak není hořlavý. Pro plamenové navařování musí být kyslík čistý, alespoň 99 %.
- Acetylen
Hořlavý plyn, výrazný zápach po česneku – technický acetylen. Chemicky čistý acetylen je bez zápachu. Nejnižší teplota vzplanutí je $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ a rychlost hoření se odvíjí podle obsahu kyslíku je přibližně $90 - 200\text{ m/s}$. Detonační rychlost acetylenu je 3000 m/s . Fyzikální vlastnosti acetylenu jsou uvedeny v tab. 1. Výhodou acetylenu je jeho hustota, protože je o 10 % lehčí, než vzduch. Kdyby došlo k úniku acetylenu, unikl by směrem vzhůru do atmosféry. Nebezpečím plynů těžších než je vzduch, je jejich klesání směrem dolů a možnost exploze.

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti acetylenu [12]

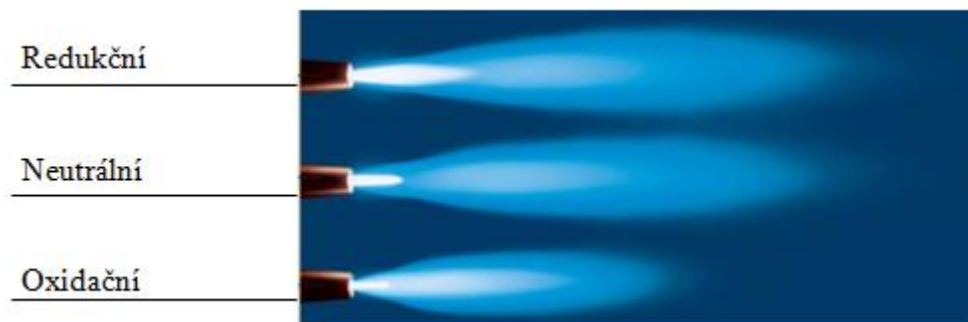
Název plynu	Acetylen
Chemický vzorec	C_2H_2
Způsob skladování	Pod tlakem rozpuštěný v acetonu
Bod varu [$^{\circ}\text{C}$]	-84
Kritická teplota [$^{\circ}\text{C}$]	35
Hustota [kg/m^3] (teplota 15°C , 1 bar)	2,2 – 85
Výhřevnost [MJ/kg]	48,2
Mez výbušnosti s kyslíkem [%]	2,8 – 93
Mez výbušnosti se vzduchem [%]	2,2 – 85

2.2.3 Svařovací plamen [12], [13], [18]

Nejčastějším typem směsi, která se pro navařování WC zrn používá, je právě kyslík a acetylen v určitém směsném poměru. Právě směsný poměr plynu nám udává, zda je plamen s přebytkem acetylenu, s přebytkem kyslíku, nebo je směs plynů vyvážená. Pro navařování WC zrn s niklovým, kobaltovým pojivem, nebo na bázi železa s martenzitickou strukturou, se využívá redukční, až neutrální plamen. Takový plamen je jednou z proměnných, která zaručí dobrou kvalitu návaru.

- Podle mísení kyslíku a acetylenu rozlišujeme:
 - Redukční plamen, poměr $O_2 : C_2H_2 \longrightarrow 1 : 0,67$ (přebytek acetylenu)
 - Neutrální plamen, poměr $O_2 : C_2H_2 \longrightarrow 1 : 1$
 - Oxidační plamen, poměr $O_2 : C_2H_2 \longrightarrow 1 : 2$ (přebytek kyslíku)

Jednotlivé druhy plamenů můžeme vidět na obr. 9.



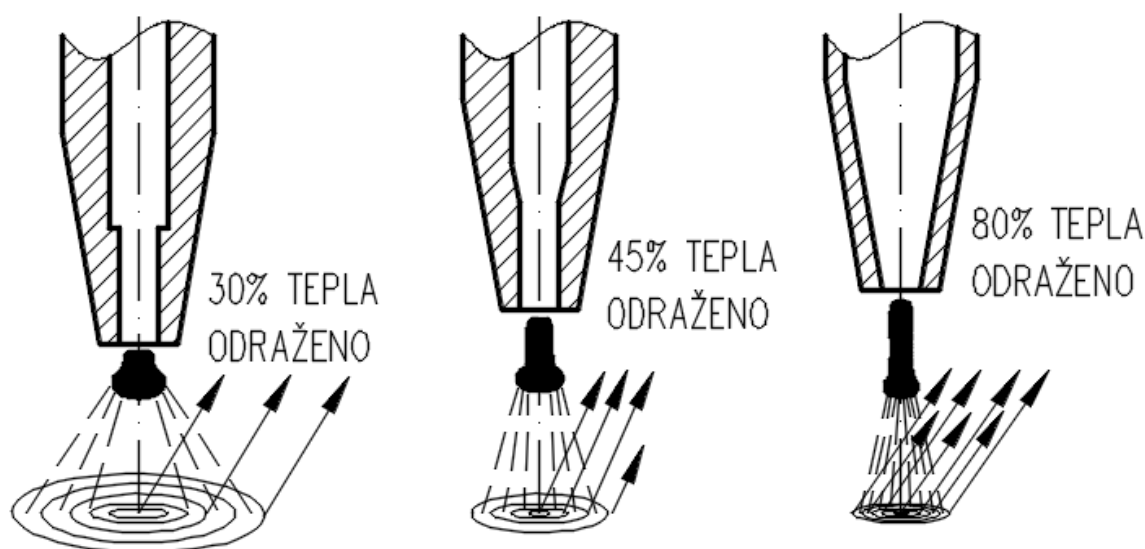
Obr. 9 Druhy plamene podle poměru $O_2 : C_2H_2$ [18]

- Dle intenzity plamene rozdělujeme plamen na:
 - Měkký plamen – výstupní rychlost 70 – 100 m/s
 - Střední plamen – výstupní rychlost 100 – 120 m/s
 - Ostrý plamen – výstupní rychlost nad 120 m/s

Pro navařování WC zrn se využívá měkký plamen s malou výstupní rychlostí. Výhodou tohoto plamene je víření v roztavené návarové lázni. Nevýhodou tohoto plamene je možnost vzniku zpětného šlehnutí, které je u kyslíko – acetylenového plamene velmi nebezpečné.

2.2.4 Technika navařování, svařovací hořák a nástavce [12], [14], [19], [20]

Pro nanášení „tvrdokovu“ je možnost použít kyslíko – acetylenový hořák normální konstrukce. Důležitou součástí těchto hořáků je potom svařovací nástavec, který má mít nízkou výstupní rychlost plynu a v nejlepším případě stále stejnou jakost plamene, tedy měkký plamen. U navařování WC zrn je doporučeno využívat měkkého redukčního plamene a volit druh nástavce takový, aby výstupní rychlost byla malá. U plamene během nanášení dochází vlivem zvyšující se teploty špičky hořáku méně redukční a dostáváme návar s rozdílnou tvrdostí, chemickým složením a nevhodnou strukturou. Při ostrém plamenu se teplo přivedené z hořáku soustřeďuje na malou plošku a může snadno natavit ZM, který znehodnotí a zředí natavovaný PM. To vyvolá změnu mechanických a chemických vlastností návaru. Pokud využijeme doporučeného měkkého plamene, minimalizuje se tím i množství odraženého tepla od ZM a spotřebuje se tím méně plynu. Příklady vlivu na výstupní rychlost plynu jsou zobrazeny na obr. 10, kde nejvhodnější nástavec ze třech uvedených je nástavec vlevo vzhledem k množství odraženého tepla a velikosti plochy navařování.



Obr. 10 Konstruktivní řešení nástavců vzhledem k odraženému tepla [14]

Konstrukce hořáku a několik druhů nástavců různých průměrů je zobrazena na obr. 11, kde je zobrazena jednoduchá konstrukce hořáku určená pro svařování acetylenem. Pro navařování wolfram karbidových zrn se využívá hořák s největším průměrem nástavce a při průchodu acetyleny prochází do lázně mimo acetyleny ještě tavidlo. Tavidlo má funkci chránit navařovaný karbid před okolním prostředím, tedy oxidací.



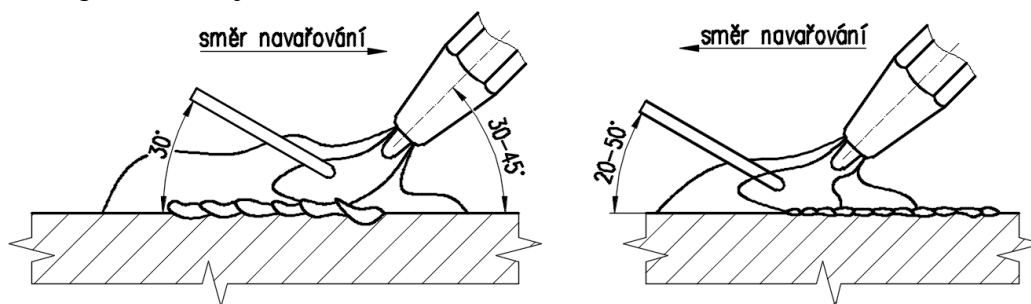
Obr. 11 Hořák běžné konstrukce s nástavci [19]

Další důležitou aspektu při navařování je směr a sklon, při kterém navařujeme PM. Přídavný materiál lze navařovat dvěma různými způsoby a to svařování vpřed (dříve dopředu, doleva), nebo vzad (dříve dozadu, doprava).

Nejčastěji využívaný styl navařování je směr vpřed. Vhodný je především pro součásti s větší hmotností. Vhodný je pro nanášení stellitů, niklových slitin a právě zmiňovaného navařování tyčinek, nebo trubiček s WC zrn.

Postup navařování vzad volíme pro navařování součástí s malou hmotností, při navařování břitů a řezných hran.

Svářeč drží hořák v pravé ruce a navařovanou tyčinku se zrn WC v levé ruce. Vhodné je, aby měl svářeč při navařování ochranné rukavice. Pokud svářeč dodrží správné držení tyčinky a hořáku má možnost pohodlně kontrolovat odtavování tyčinky a návarovou lázeň. Polohu zrn lze v návarové lázni upravovat kovovou tyčí před tím, než mosazná slitina ztuhne. Postup navařování vpřed a vzad je znázorněn na obr. 12.



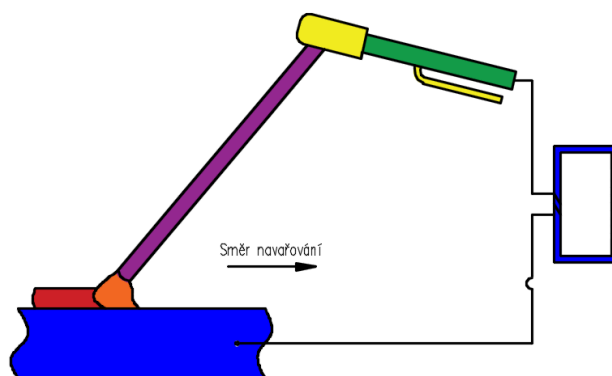
Obr. 12 Směr nanášení, směr vpřed (vlevo), směr vzad (vpravo)

2.3 Další možné metody z hlediska navařování WC zrn [4], [21], [22], [23], [24]

Nanášení WC zrn se neprovádí jen technologií tvrdého nánosového pájení, ale je několik možností, jak samotné zrna WC se základním materiálem spojit, ovšem tyto technologie, již nespádají pod tvrdé nánosové pájení. Všechny tyto metody nanášení spojuje právě zrna WC, které je navařováno v různých tvarech a velikostech. Návary, které jsou nanášeny danými technologiemi, obsahují matrice s WC zrn a ty mají vždy uvedenou svou tvrdost. Velikost těchto „vložených“ zrn se může pohybovat v řádu mikronů, bude se jednat o žárové nástříky, až v řádu milimetrů, kdy se bude jednat o metodu navařování tvrdým pájením. Možnost nanášení žárovými nástříky zde zmiňuji jen z důvodů možností rozmezí velikosti a tvaru WC zrn, ovšem nebude v těchto variantách nějak dále rozebrána z důvodu obsáhlosti této technologie.

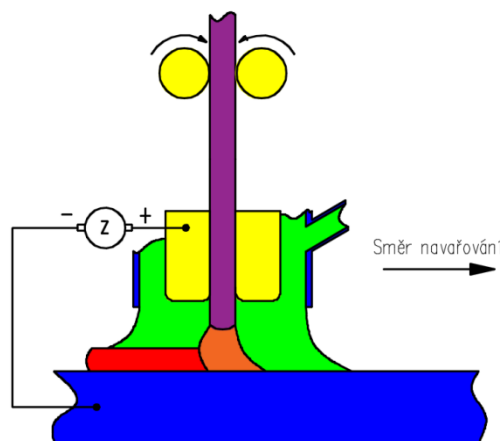
- Navařování WC zrn obalenou elektrodou – metoda 111

Navařování elektrickým obloukem probíhá v prostředí ionizovaného plynu. K vytvoření elektrického oblouku dochází při doteku elektrody (katody) a ZM (anody), při dostatečném napětí potřebného pro ionizaci a proudu držícího plazma v ionizovaném stavu. WC zrna se v tomto případě nacházejí v obalu elektrody a odtavují se na ZM. Princip metody navařování je zobrazen na obr. 13. Výhodou metody je její rychlost navařování, která je vyšší, než u plamene a možnost navařování tvarově složitých komponent a přechodů.



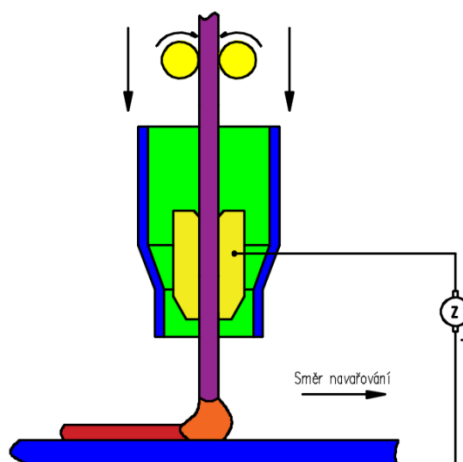
Obr. 13 Navařování WC zrn elektrodou [21]

- Navařování APT plným drátem – metoda 121 a plněnou elektrodou – metoda 125
Podstata metody spočívá v odtavování elektrody v podobě holého drátu neomezené délky do místa návaru pod ochrannou vrstvou tzv. tavidlem. Princip navařování je vidět na obr. 14. Celý tento proces ve většině případů probíhá automatizovaně pomocí tzv. svařovacího traktoru, který jezdí po kolejnicích. WC zrna jsou v tomto případě obsažena v plném drátu, nebo plněné elektrodě. Výhodou této metody je její rychlost navařování při stabilním procesu navařování. Nevýhodou této metody je možnost vzniku tzv. „podnávarových“ trhlin, díky promíchání ZM a navařeného spoje. Další nevýhodou může být průměr odtavovaného drátu, přičemž průměr drátu je závislý na velikosti WC zrn a možnost svařovat jen v poloze Pa.



Obr. 14 Navařování WC zrn APT [21]

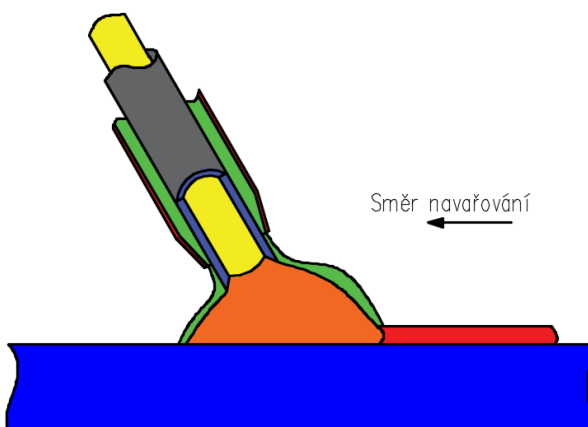
- Navařování v ochranných atmosférách aktivních plynů (MAG) – metoda 135
Navařování pomocí technologie MAG je založeno na hoření oblouku mezi odtavující se elektrodou ve formě drátu a ZM v ochranné atmosféře. Proces navařování je zobrazen na obr. 15. WC zrna jsou v tomto případě dodávána do místa návaru v podobě plného drátu, nebo trubičkového drátu pomocí kladek umístěných v podavači. Velkou výhodou je zde vysoká produktivita a rychlost navařování. Nevýhodou u zmíněné trubičky je průměr drátu, který ovlivňuje velikost WC zrn.



Obr. 15 Navařování WC zrn, MAG [21]

- Obloukové navařování WC zrn plněným drátem (FCAW) – metoda 138

Svařování trubičkovým drátem je tavná metoda navařování, kdy trubičková drát je naplněna tavidlem a WC zrn. Odtavování trubičky nastane při vytvoření elektrického oblouku. Ochranná atmosféra může být přímo tvořena buď tavidlem, nebo ochranným plynem, jak je na obr. 16. Výhoda trubičkového drátu spočívá ve zvýšené kvalitě provedeného návaru, jednak profilem průvaru a hořením. Nevýhodou zde může tvořit struska, průměr drátu vzhledem k velikosti WC zrn.



Obr. 16 Navařování WC zrn, FCAW [21]

- Navařování WC zrn plazmou (PTA)

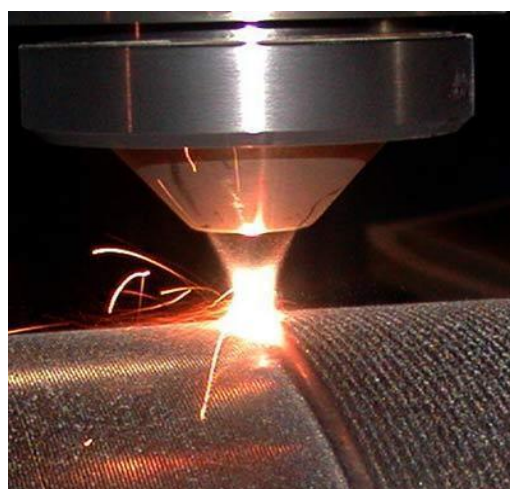
Navařování plazmou je založeno na ionizaci plynu při průchodu elektrickým obloukem. Do svaru je vnášen úzký svazek plazmatu (fokusační plyn a plazmový plyn), jak je vidět na obr. 17. Hořák je dále doplněn tyrskou pro vnášení ochranného plynu k potlačení oxidace. Je zde široký sortiment PM v podobě drátů, tyčinek, trubiček a prášků. Výhodou natavování WC tímto zdrojem je především velké vnesené teplo při malém promíšení ZM s WC zrn a malá TOZ. Další výhodou je návar bez pórů, bublin a ředin. Mezi nevýhody patří navaření jen velmi malých ploch.



Obr. 17 Navařování WC zrn, PTA [23]

- Navařování WC zrn laserem

Princip navařování spočívá v tavení práškového přídavného materiálu v podobě WC zrn naneseného na povrch substrátu inertním plynem znázorněno na obr. 18. Tyto WC zrna mají vysokou tvrdost a dobrou odolnost vůči opotřebení. Prášek lze natavit do návaru s difúzním spojením se substrátem, nebo částečně natavit i ZM s metalurgickým spojením. Mezi výhody patří nízká porozita materiálů, velmi vysoká tvrdost a malá TOO. Nevýhodou je v tomto případě navaření malé velikosti WC zrn a v tomto případě se hodí na navařování malých součástí.



Obr. 18 Navařování WC zrn laserem [24]

3 ZHODNOCENÍ MATERIÁLŮ A PARAMETRŮ [25], [26]

Materiál, na který bude navařován wolfram – karbidová zrna je běžná konstrukční ocel, jak již bylo zmíněno v rozboru S355 (ČSN 11 523). Pro tyto účely je důležité spočítat uhlíkový ekvivalent, který ovlivňuje svařitelnost dané oceli.

Máme mnoho nanášených druhů WC zrn různé velikosti, od různých výrobců. V této práci budou rozebrány dvě konkrétní nanosové vrstvy „tvrdokovu“ a to DURIT CS, který se pájí v podobě tyčinek a DURIT Ni A, kde zrna wolfram – karbidu jsou umístěny v trubičce. Velikost těchto zrn je podstatně menší oproti navařované vrstvě DURIT CS

Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje navařovanou vrstvu „tvrdokovu“ je předehřev. Předehřev ovlivňuje vznik trhlin a různých dalších vad při pájení spoji. Proto je zde důležité vypočítat teplotu předehřevu a při pájení ji dodržovat.

V závěru tohoto bodu bude vyhodnocena kvalifikace páječe a pájeného spoje dle příslušných norem. Norma pro kvalifikaci zkoušek páječů a operátorů tvrdého pájení podle ČSN EN ISO 13 585. Norma, která se zabývá postupem pájení podle ČSN EN 13134.

3.1 Základní materiál a jeho svařitelnost [27], [28], [29]

Základním materiálem bude feriticko – perlitická ocel S355 ekvivalent ČSN 11 523. Jedná se o jemnozrnnou, jakostní ocel vhodnou ke svařování (pájení). Chemické složení daného materiálu je vidět v tab. 2, zbytek materiálových vlastností je k nahlédnutí v materiálových listech v příloze. Ocel je s definovaným množstvím uhlíku, síry a fosforu. Mechanické vlastnosti jsou nejvíce ovlivňovány C a Mn. Nežádoucími prvky v oceli jsou fosfor a síra, proto je snaha, aby obsah těchto prvků byl v materiálu, co nejnižší. Neovlivňuje totiž jen kvalitu sváru, ale hlavně a především mechanické vlastnosti součásti.

Důležitým faktorem pro pájení je obsah uhlíku v oceli. Při vyšším obsahu C může nastat tzv. vypalování uhlíku, což má za následek pórovitost spoje a nepříznivě se mění struktura ZM. Více uhlíku taky zapříčiňuje rozpouštění oceli v pájce, tzv. precipitaci. Na mikrostruktuře se to projeví růstem dendritů v místě styku pájky a ZM. Čím více C, tím více dendritů. Při obsahu 0,2 %C, jak je to u tohoto ZM je příznivá pro „pájitelnost“.

Tab. 2 Chemické složení oceli S355 [%], [28]

C	Mn	Si	P	S	Al
0,20	1,60	0,55	0,05	0,045	0,015

- Výpočet uhlíkového ekvivalentu

Uhlíkový ekvivalent rozhoduje o zařazení předehřevu do sledu operací. Aby nemusela být operace předehřevu zařazena, musí ZM splňovat $C_e \leq 0,45$ hm. %, $C \leq 0,20$ % a zároveň musí platit, že $s \leq 25$ mm. Pokud všechny tyto podmínky budou splněny, nemusí být ZM předehřát.

$$C_e = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r}{5} + \frac{N_i}{15} + \frac{M_o}{4} + \frac{C_u}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot s \quad (3.1)$$

s... tloušťka navařovaného ZM [mm]

$$C_e = 0,20 + \frac{1,6}{6} + \frac{0}{5} + \frac{0}{15} + \frac{0}{4} + \frac{0}{13} + \frac{0,05}{2} + 0,0024 \cdot 25 = 0,55 \%$$

Obsah uhlíku v oceli a navařovaná tloušťka materiálu jsou sice splněny, ale uhlíkový ekvivalent nesplňuje hranici $C_e \leq 0,45$ hm. %. Vzhledem k výsledkům uhlíkového ekvivalentu je třeba zahrnout předehřev, jako operaci před samotným navařováním wolfram – karbidových zrn.

- Stanovení teploty předehřevu

Důležitým faktorem při navařování jemnozrnných uhlíkových ocelí je rychlost ochlazování po navařování. Ochlazování je závislé na množství dodaného tepla a měrného tepelného příkonu, proto je někdy nutné k řízení rychlosti ochlazování využít předehřev. Předehřev se zařazuje před samotné pájení kvůli možnému vzniku trhlin a nežádoucích vad.

Výpočet předehřevu je počítán dle Séferiána. Výpočet je vhodný pro oceli uhlíkové a nízkolegované s obsahem $C > 10$ hm. %.

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25} \quad (3.2)$$

T_p ... pelota předehřevu [°C]

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{0,43 - 0,25} = 148,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p = C_c + C_s$$

$$C_p = 0,38 + 0,048 = 0,43$$

$$C_c = \frac{360C + 40(M_n + C_r) + 20N_i + 28M_o}{360}$$

$$C_c = \frac{360 \cdot 0,20 + 40(1,6 + 0) + 20 \cdot 0 + 28 \cdot 0}{360} = 0,38$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c$$

$$C_s = 0,005 \cdot 25 \cdot 0,38 = 0,048$$

Teplota předehřevu u oceli S355, při svařování by měla být podle výpočtu přibližně 150°C. Teplotu předehřevu, při pájení WC zrn volíme daleko vyšší. Měla by se pohybovat okolo 300 – 500 °C kvůli lepší manipulaci s přídavným materiálem, „smáčivosti“ pájky a lepší roztékavosti po povrchu ZM.

3.2 Předehřev [30], [31], [32]

Předehřev, jak již bylo řečeno v předešlém odstavci, slouží k zabránění vzniku vad a stabilnějšímu ochlazování základního materiálu a návarové lázně.

Předehřevu ZM je možno docílit mnoha způsoby, ať už se jedná o předehřev samotným kyslíko – acetylenovým plamenem, pec, indukční cívky anebo nejlepší a nejekonomičtější varianta v tomto případě jsou topné žíhací odporové dečky. Materiál, který se využívá pro výrobu odporových drátů v topných dečkách je NiCr (80 / 20) a obal je tvořen keramikou z oxidu hlinitého.

Tyto dečky se vyrábí v různém provedení velikosti rozměrů, tvaru a napětí pro dosažení potřebné předehřívací teploty.

Rozlišujeme několik typů topných deček (VHV, VHY, VHK), z nichž pro předehřev odkorňovacích nožů nejlépe vyhovuje typ VHV.

Typ VHV topných deček, jak je vidět na obr. 19, můžeme využít na ploché, i „hřidelovité“ tvary součástí, v čemž spočívá jejich univerzálnost. Maximální provozní teplota topných deček je přibližně 1050 °C a velkou výhodou je možnost předehřát velké polotovary, které bychom do pece rozměrově nedostali.



Obr. 19 Topné dečky, typ VHV [32]


Zásadami pro správnou funkci topných deček je pokrýt celý ZM, vzdálenost mezi dečkami nesmí překročit tloušťku materiálu a topné desky nesmí na sebe být navzájem umístěny.

3.2.1 Teplota předehřevu [33], [34]

Předehřev se volí na základě přídavného materiálu (pájky). Na tuto teplotu je třeba předehřát základní materiál a nanášet pájku. Pro každý materiál je třeba počítat s tím, že jinak odvádí teplo, z pravidla silnější materiály chladnou rychleji. Pokud bychom materiál předehřáli nedostatečně, nebo nadměrně, může se stát, že pájka nepřilne správně, nebo vůbec k materiálu. Můžou zde vznikat různé druhy vad, jako například studený spoj, která potom nemá požadovanou pevnost, či přehřátý spoj, který má za následek deformace, trhliny a v nejhorším případě i špatnou přilnavost pájky.

Při předehřevu součásti (ZM) můžeme teplotu kovu odhadnout vizuálně podle barvy, jak je vidět na tab. 3.

Tab. 3 Způsob rozeznání teploty předehřevu dle barvy oceli [33]

Barva ohřáté oceli	Teplota [°C]	Barva	
	1250 – 1350	Bílá	
	1150 – 1250	Světle žlutá	
	1050 – 1150	Tmavě žlutá	
	880 – 1050	Žlutočervená	
	830 – 880	Světle oranžová	
	800 – 830	Tmavě oranžová	
	780 – 800	Třešňově červená	
	750 – 780	Tmavě třešňově červená	
	650 – 750	Tmavě červená	
	580 – 650	Hnědočervená	
	520 – 580	Černohnědá	

Mnohem lepší a přesnějším způsobem, jak určit teplotu ohřevu materiálu je využít tzv. „termokřída“ (obr. 20). Jsou vyráběny pro různé teploty. Na materiál nanese „termokřidu“ a začneme přehřívát. V momentě, kdy křída začne měnit své skupenství teplota přehřevu je vyhovující.



Obr. 20 Termokřída [34]

Postupem času a zkušenostmi svářeče je svářeč schopen dle barvy oceli a změřeného času pro ohřev konkrétní oceli (S355) schopen poznat, kdy je ocel dostatečně přehřátá.

3.3 Karbid wolframu (WC) [4], [35], [36], [37]

Slinutý karbid v podobě karbidu wolframu je kompozitní materiál zhotovený práškovou metalurgií a následným slinováním. V nejzákladnější formě je karbid wolframu šedý jemný prášek, jak je vidět na obr. 21, který se lisuje do různých tvarů, pro použití ve strojírenství, hornictví, dřevo zpracovávajícím průmyslu apod. Samotný wolfram karbid bez matrice je jen velmi málo houževnatý a v případě čistého karbidu budeme o něm mluvit, jako o keramice. Houževnatosti lze docílit matricí (pojivo) na bázi niklu, nebo kobaltu a v tomto spojení již budeme mluvit o cermetech.



Obr. 21 Karbid wolframu v podobě prášku [35]

Jednou z nejvýznamnějších vlastností WC zrn je jejich tvrdost. Podle Mohsovy stupnice tvrdosti má karbid wolframu přiřazeno číslo 9,5, což je o něco málo méně, než diamant.

Karbid wolfram je buď ve formě jednoho atomu wolframu s jedním atomem uhlíku (WC), nebo dvěma wolframovými atomy s jedním atomem uhlíku (W_2C).

Tab. 4 Vlastnosti karbidu wolframu [37]

Typ karbidu	WC	W_2C
Tvrdost HV50	2200	3000
Typ mřížky	Hexagonální	Hexagonální
Teplota tavení [°C]	2800	2777
Hustota [$g \cdot cm^{-3}$]	15,63	17,3
Modul pružnosti [GPa]	696	-
Teplotní roztažnost [$\mu m \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	5,2	-

Další významnou a důležitou vlastností WC zrn je jejich korozivzdornost, která je ovlivněna typem pojiva. Samotná zrna jsou odolná, proti všem typům médií. Z toho vyplývá, že druh matrice hraje velmi významnou roli. Nedůslednou volbou pojiva může dojít k narušení zrn a následnému odpadávaní. Podíl pojiva a velikost WC zrn hrají důležitou roli, při odolnosti proti opotřebení. Jemnými zrny a nižším podílem pojiva se zvyšuje odolnost proti opotřebení, ale klesá mechanická pevnost a naopak. Rázová houževnatost je také ovlivněna podílem matrice, obzvláště při hrubějším zrně a vyšším obsahu pojiva.

3.3.1 Výroba prášku [38], [39], [40]

Výroba prášků prochází několika procesy, až do finálního zrna WC. Na začátku je nerostná ruda v podobě wolframitu, nebo scheelitu. Několika následnými procesy získáme oxid wolframový (WO_3), který se využívá pro redukci.

Standartním procesem redukce oxidu wolframového získáváme wolframový prášek. Různými změnami parametru redukčního procesu lze regulovat zrna prášku wolframu. Pokud chceme získat jemné zrno, je potřeba nízké teploty s přebytkem vodíku a malým přísunem oxidu wolframového a naopak.

Wolframový prášek se dále míchá se sazemí v přesně stanoveném množství a směs je v peci zahřívána na vysokou teplotu 1000 – 2100 °C ve vodíkové atmosféře. Tento proces se nazývá nauhličování, neboli karburace.

Karburace probíhá dvoustupňovou reakcí $\text{W} \rightarrow \text{W}_2\text{C} \rightarrow \text{WC}$. Nejprve uhlík v přímém kontaktu s povrchem wolframu reaguje a na povrchu vzniká okraj skládající se z jemného zrna WC. Následně se od kraje WC začne přetvářet wolfram na W_2C , a tak to pokračuje bez významnějšího nárůstu okraje WC. Po přeměně kovového wolframu na W_2C se okraj WC začne rozrůstat směrem dovnitř, dokud není proces dokončen. Zjednodušené schéma celého procesu karburace lze vidět na obr. 22. Výsledným produktem je prášek WC.

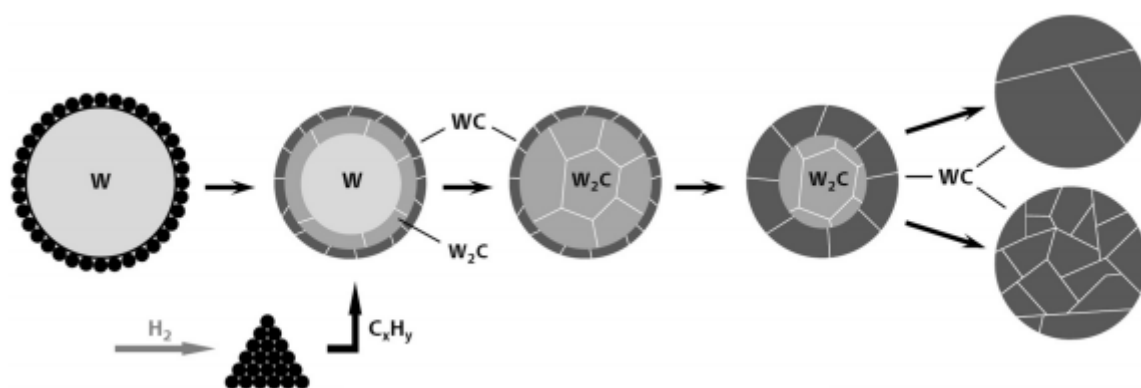
Atmosféra při tuhnutí výrazně ovlivňuje proces a výsledné množství uhlíku v konečném produktu.

Prášek wolfram – karbidu se dále míchá v určitém poměru s kobaltem za mokra (v prostředí inertních kapalin) a vzniklým produktem je slinutý karbid.

Mletí je následným procesem v přípravě karbidu a má za následek zmenšování velikosti zrn prášku a homogenitu směsi. Během mletí zrna karbidu a kobaltu přilnou k sobě.

Po mletí dochází k vysušení a dokonale připravená směs se poté lisuje. Výsledným produktem jsou zrna WC.

Pro výrobu přidavného materiálu DURIT CS v podobě tyčinky pro navařování se používá dvoudílná forma a karbid spolu s pojivem (mosaz) se do formy odlije. Pro výrobu druhého přidavného materiálu DURIT Ni A se využívá trubička, která se válcuje a plní zrny WC spolu s pojivem (Ni).



Obr. 22 Proces karburace [38]

3.3.2 Druhy tvaru zrn karbidu - wolframu [41], [42], [43], [44]

Wolfram – karbidová zrna se nerozlišují jen podle velikosti zrn, ale také podle tvaru. Zrna wolfram – karbidu se vyrábějí v těchto formách:

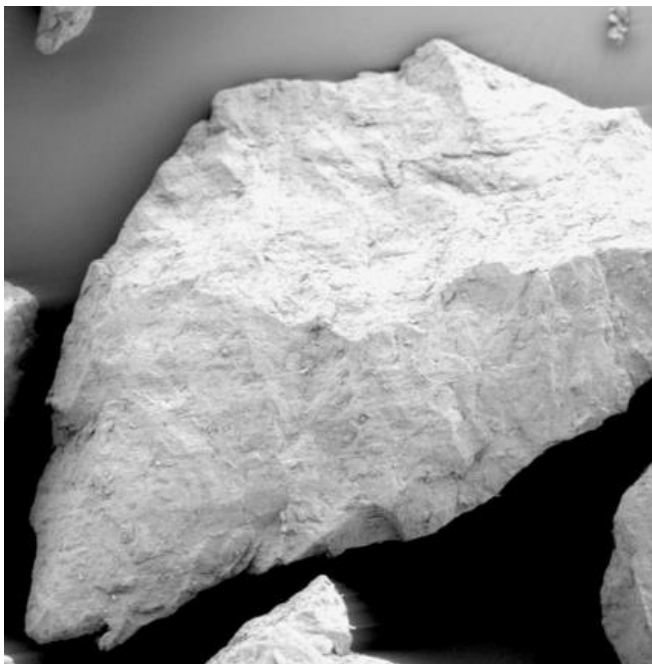
- FTC – Fused Tungsten Carbide (nerovnoměrná, jehlicový tzv. „acikulární“ tvar zrn)
- SFTC – Spherical Fused Tungsten Carbide (rovnoměrný, kulatý tzv. „sférický“ tvar zrn)
- Spékaný tzv. „sintrovaný“ WC (kulatý, ve směsi s Co, vhodný pro žárové nástřiky)

- FTC

Nanášený wolfram – karbid typu FTC, jak je vidět na obr. 23 je tvrdý materiál odolný proti opotřebení. WC typu FTC má lepší odolnost proti otěru, pokud jde odolnost proti opotřebení, než všechny komerčně dostupné materiály kromě diamantu. Tento materiál je základem všech výrobků odolných proti otěru. Ve srovnání s karbidem chromu, který se v současné době velmi využívá je WC typu FTC daleko lepší.

WC s mikrostrukturou typu FTC má obsah uhlíku mezi 3,8 – 4,1 %. To odpovídá poměru 28 – 80 % W_2C a 20 – 22 % WC. Při zpracování WC s mikrostrukturou FTC je třeba věnovat zvýšenou pozornost, aby teplota nepřesáhla 1800 °C. Vyšší teploty by způsobily změnu struktury, která by vedla ke ztrátě tvrdosti. Pokud by přece jen došlo k přehřátí během natavování, pájka difunduje do kovové matrice, což bude vést ke snížení schopnosti materiálu odolávat opotřebení.

Vlastnosti FTC jsou také závislé na struktuře. WC s mikrostrukturou FTC, který vykazuje 80 % W_2C má makrotvrdost přibližně 2500 HV. Mikrotvrdost tohoto materiálu je potom přibližně 2300 – 2500 HV.



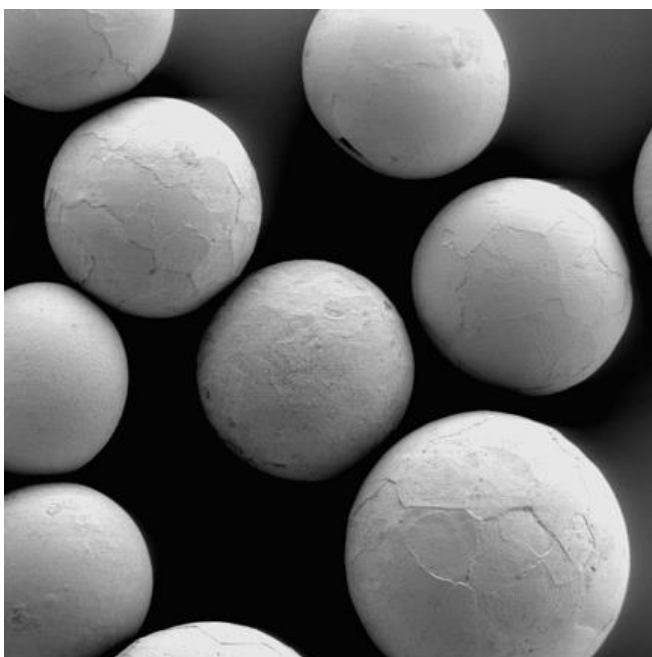
Obr. 23 WC s mikrostrukturou FTC [41]

- SFTC

WC s mikrostrukturou SFTC, jak je vidět na obr. 24 je jeden z nejvíce odolných karbidů wolframu, který můžeme natavit.

Vykazují jemnou kovovou strukturu s vyšší tvrdostí, než konvenční FTC tvar zrn. Hodnota tvrdosti je zde vyšší, než 3000 HV.

Využitím práškové metalurgie je možno vyrábět součásti téměř jakéhokoli tvaru, na které může být aplikována tvrdá vrstva karbidu, nebo diamant společně s kovovým pojivem SFTC, což posiluje tvrdost diamantových nástrojů. Karbidy tohoto typu s jemnou, nekovovou strukturu, mají využití především v důlním průmyslu na diamantové nástroje apod.



Obr. 24 WC s mikrostrukturou SFTC [41]

3.3.3 Nanášené druhy WC zrn [20], [29], [45], [46], [47]

Jak již bylo zmíněno v úvodu, nanášený materiál na odkornovací nůž bude dvojího druhu. Jejich obchodní názvy jsou DURIT Ni A a DURIT CS. Přídavný materiál je přímo dodáván i navařován firmou WIRPO. Všechny ostatní parametry jsou k nahlédnutí v materiálových listech v příloze.

- **DURIT CS**

Svařovací tyč složená ze slitiny niklu, včetně drceného slinutého karbidu. Vyrábí se různých průměrů od Ø 1,6 – 6,4 mm, podle velikosti zrna.

Tab. 5 Všeobecný přehled vlastností DURIT CS [45]

	Zrno	Matrice
Složení	WC - W ₂ C	CuNiZn
Tvrдость [HV]	2600	~ 74
Podíl [%]	60	40
Tvar zrna	Slinuté fragmenty karbidu wolframu	-

- **Postup pájení**

Abychom dosáhli dobrých výsledků při svařování, měli bychom ZM očistit od rzi, mastnoty a podobných nečistot.

Teplota předehřevu základního materiálu by měla být 500 °C, ZM by neměl být přehříván.

Hořák nastavíme, aby byl plamen redukční, až neutrální, abychom byli schopni pohybovat karbidy v návarové lázni. Dále nanese PM v podobě DURIT CS na ZM. Pracovní teplota pájení by se měla pohybovat přibližně okolo 920 °C. Zrna WC by měly být otočeny kovovou tyčí v návaru na výšku.

Po dokončení návaru bychom měli nechat odkornovací nůž nechat zchladnout na vzduchu. V žádném případě se nesmí nikdy návar chladit vodou, nebo jiným médiem.

- **Vlastnosti jednotlivých prvků pájky**

Nejvíce obsaženým prvkem této mosazné pájky je měď. Tvoří přibližně 48 % pájky, dává pájenému spoji pevnost, výborně přilne k pájenému povrchu a má schopnost difundovat do materiálu. Mosazná pájka je výhodná z důvodu ceny oproti samostatné mědi, přičemž mědi by mohlo být v pájce více, ale je drahá. Má malou viskozitu a dobře smáčí povrch ZM.

Zinek, druhý nejvíce obsažený prvek pájky je zde z důvodu ceny pájky. Nevýhodou zinku je jeho vypařování při teplotě 650 °C, což je škodlivé pro zdraví páječe. Špatnou vlastností zinku je také jeho možnost vázat se s H a způsobovat pórovitost návaru.

Nikl je obsažen v pájce z důvodu zvýšení pevnosti a zároveň houževnatosti. Ni do jisté míry nahrazuje Cu, zvyšuje teplotu pájky a je na něm závislá cena pájky, proto je v této pájce obsažen v malé míře.

Křemík bývá obsažen v pájce mezi 0,1 – 0,25 %. Si je v této pájce z důvodu zmenšení pórovitosti, zmenšuje rozpustnost zinku ve vodíku (Si + H tvoří tzv. hydridy) a zabraňuje „přepalu“ Zn.

- **DURIT Ni A**

Navarování se provádí trubičkou obsahující tavné karbidy wolframu ve slitině niklu. Vynikající vlastnosti tohoto návaru je hladký a čistý povrch. Slitina velmi dobře zatéká díky svému bodu tání, který je mezi 900 – 1000 °C. Slitina niklu oproti přídavnému materiálu DURIT CS má výhodu, že má vynikající odolnost vůči kyselinám a korozním látkám. Můžeme jej tedy využít i v extrémních podmínkách, kde je velké opotřebení a zároveň porézní, či kyselé prostředí.

Tab. 6 Všeobecný přehled vlastností DURIT Ni A [46]

	Zrno	Matrice
Složení	WC - W ₂ C	NiCrBSi
Tvrdost [HV]	2360	~ 485
Podíl [%]	65	35
Tvar zrna	FTC	-

- **Postup pájení**

Postup pájení DURIT Ni A je v podstatě stejný, jako u předešlého návaru, až na pár drobných změn.

Přehřev se volí u tohoto návaru nižší, teplota přehřevu ZM se pohybuje mezi 300 – 500 °C.

Díky druhu matrice je zde nízká pracovní teplota při nanášení, která se pohybuje mezi 900 – 1050 °C, nicméně měli bychom se opět vyhnout přehřátí.

- **Vlastnosti jednotlivých prvků pájky**

Nepřehlédnutelnou výhodou této matrice je její vysoká odolnost proti korozi zapříčiněna především obsahem Ni a částečně Cr. Tyto prvky zároveň ovlivňují tvrdost a houževnatost pájky. Nikl je nosičem vysoké tvrdosti a houževnatosti. Tato pájka je z důvodu vysokého obsahu Ni (až 60 %) velmi drahá a je třeba zvážit její využití. Cr zvyšuje odolnost proti oxidaci a pevnost.

Dalším významným prvkem v této slitině je bor. Napomáhá k rychlé interakci, tvorbě slitin a proniká rychle po hranici zrn. Nikl nerozpouští B. Bor a křemík snižují teplotu tavení a vytvářejí v pájce silicidy a boridy, což zapříčiňuje snížení plastických vlastností pájky. Bor také působí intenzivní difuzí pájky do ZM a zároveň rozpouští základní materiál (tzv. erozivní účinek).

3.4 Tavidlo [4], [29], [47]

Tavidlo je prostředek, který se využívá pro ochranu povrchu před oxidy a jejich sloučeninami (např. Al₂O₃, Cr₂O₃), tedy obecně před oxidací. Vrstvy oxidu a jiné nečistoty zhoršují kvalitu smáčení mezi ZM a pájkou. Reakční teplota tavidla by měla být nižší, než je reakční teplota pájky, aby tavidlo využilo svých rozpouštěcích schopností. Hlavní funkcí tavidla je tedy pokrýt pájený spoj a zamezit afinitu kovu ke kyslíku. Dalším úkolem tavidla je zabránění zvýšení povrchového napětí, tzn. rozpuštěné oxidy, nesmí změnit složení tavidla, aby nedošlo k navýšení povrchového napětí.

Označování tavidel zajišťuje norma ČSN EN 1045 a druh tavidla volíme dle ZM, druhu a teploty tavení a povrchového oxidu.

Norma rozděluje tavidla do dvou skupin:

- FH – tvrdé pájení těžkých kovů

- FL – pro tvrdé pájení hliníků a jeho slitin

Podle reakční teploty se tavidla dají rozdělit na:

- Reakční teplota 550 – 800 °C
- Reakční teplota 700 – 1000 °C
- Reakční teplota nad 1000 °C

Tavidlo je v případě navařování slitin DURIT CS a DURIT Ni A dodáváno v plynném stavu doprovázeno spolu s acetylenem přímo do spoje. Typ tavidla bude pravděpodobně FH, reakční teplota 700 – 1000 °C.

3.5 Kvalifikace páječe a pájeného spoje [25], [26]

Klasifikovat procesy pájení můžeme podle dvou norem:

- ČSN EN ISO 13585 – Tvrdé pájení – Zkouška páječe
- ČSN EN 13134 – Tvrdé pájení – Zkoušky postupu pájení

Klasifikovat zkoušky postupu pájení dle normy ČSN EN 13134 nebylo možné, norma není dostatečná pro kvalifikaci tohoto typu postupu pájeného spoje, ovšem „naklasifikovat“ páječe podle normy ČSN EN ISO 13 585 je možné.

- Klasifikace páječe (ČSN EN ISO 13 585)

Při kvalifikaci páječe (operátora) je třeba dodržet několik základních proměnných. Každý druh pájení mimo rozsah kvalifikace vyžaduje dle normy kvalifikační zkoušku. Jednotlivé proměnné budou postupně projity a zařazeny.

Základní proměnné a rozsah kvalifikace:

- Metoda tvrdého pájení – metoda 912 tvrdé pájení plamenem, ručním hořákem
- Druh výrobku – plech (P)
- Druh spoje – tupý spoj (O)
- Skupina ZM

Tab. 7 Rozsah kvalifikace pro ZM [26]

Skupina materiálů	Označení	Zkušební kus	Rozsah kvalifikace
1	A	A – A	A – A

- PM a způsob nanášení pájky – přímé nanášení (FF)
- Rozměry – zkušební kus $t > 10\text{mm}$
- Směr nanášení PM – vertikální nanášení směrem nahoru (VU), všechny směry nanášení
- Stupeň mechanizace – manuální (rozsah kvalifikace – manuální a mech.)

Zkouška a zkoušení:

- Rozsah zkoušení – makroskopická zkouška
- Vizuální kontrola
- Doplnková kontrola a zkoušení – metalografická zkouška, zkouška tvrdosti
- Označení – ISO 13585 – 912 P B 1 RBCuZn – A FF t25 VU
ISO 13585 – 912 P B 1 T Ni20 FF t25 VU

Doba platnosti kvalifikace trvá 3 roky za předpokladu, že páječ nepřeruší svou činnost na více, než 6 měsíců. Jestliže páječ uspěl, je mu vydáno osvědčení o tom, že úspěšně vykonal kvalifikační zkoušku.

4 NÁVRH A PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Zkoušky postupu pájení bohužel nešly „naklasifikovat“ dle normy ČSN EN 13134, proto byly zkoušky navrženy dle potřeby. Jednotlivé zkoušky budou provedeny na vzorcích z odkorňovacího nože. V první řadě bude vyhotovena vizuální zkouška. Poté bude cílem zhodnotit, aby měl návar především požadovanou tvrdost, která je doménou těchto návarů.

Dále bude provedena makroskopická a mikroskopická zkouška pro zjištění eventuálních vad v pájce, ZM a WC zrnech. Mikro a makrostruktura může posloužit k hodnocení zkoušky tvrdosti.

Závěrem všech těchto zkoušek bude zkoumání struktury na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM), kde prozkoumáme blíže strukturu a zhodnotíme, zda při hodnocení makrostruktury a mikrostruktury se struktura chovala, jak se ze snímků předpokládalo. Všechny snímky budou podloženy EDS analýzou.

4.1 Vizuální zkouška [48]

Při hodnocení PM DURIT CS nebyly nalezeny pouhým okem žádné význačné vady. Na povrchu se pouze vyskytlo tavidlo.

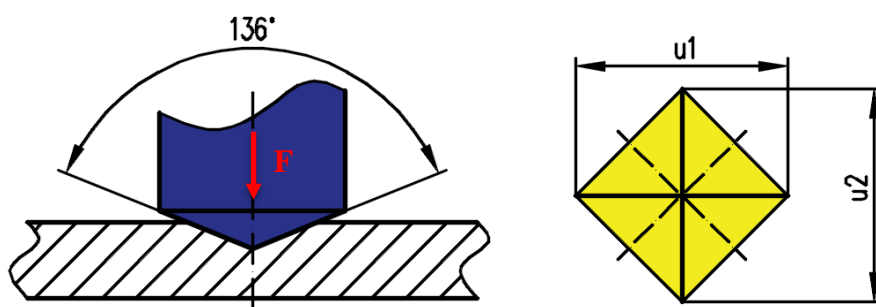
Při vyhodnocení druhého přídavného materiálu DURIT Ni A se zde místy objevuje pórovitost. Občasně se zde také vyskytují trhlinky v PM.

4.2 Zkouška tvrdosti dle Vickerse [49], [50], [51]

Tvrdost se hodnotí, jako odolnost materiálu, proti vnikání cizího tělesa. Metoda spadá mezi statické, tedy indentor se vtlačuje klidnou silou, kolmo ke zkoušenému materiálu.

Indentorem je u Vickersovy metody čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem 136° , jak je zobrazeno na obr. 25. Jehlan je vtlačován do zkušební vzorku. Následně zde při určitém zatížení dochází k prodlevě (doba zkoušky) a k odlehčení. Dále se buď automaticky, nebo ručně změří délka uhlopříček ve vzniklém vrypu a převede na hodnotu tvrdosti dle Vickerse.

Metoda je vhodná pro měkké i tvrdé materiály. Díky tomu, že pro tuto metodu měření tvrdosti je třeba hladký, rovný a leštěný povrch, dosahuje tato metoda velmi přesných výsledků tvrdosti.



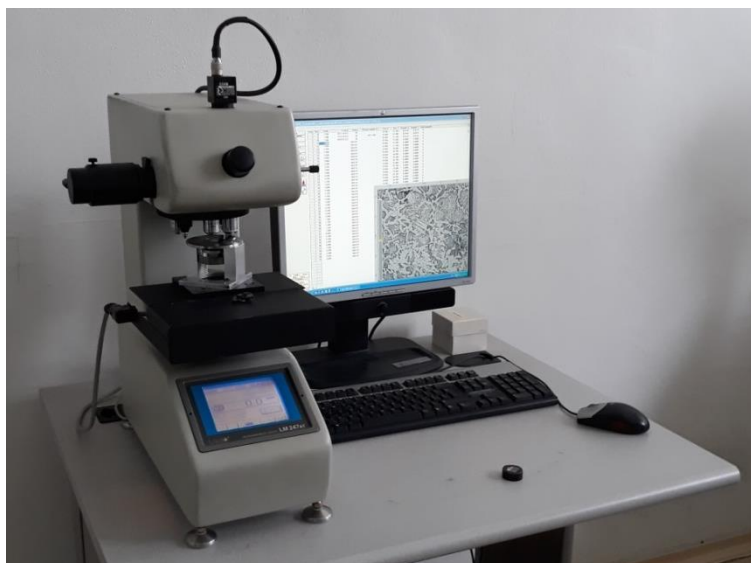
Obr. 25 Schéma zkoušky dle Vickerse [49]

Podle hodnoty zkušebního zatížení se zkoušky rozdělují na:

- 5 – 100 kg (HV5 – HV100) – zkouška tvrdosti dle Vickerse
- 0,2 – 5 kg (HV0,2 – HV5) – zkouška tvrdosti dle Vickerse při nízkém zatížení
- 0,01 – 0,2 kg (HV0,01 – HV0,2) – zkouška mikrotvrdosti dle Vickerse

V případě mé práce se bude měřit tzv. mikrotvrdost dle Vickerse. Pro měření se vybralo zatížení 200 g, tedy HV0,2.

Přístroj, na kterém se bude měřit mikrotvrdost, se nazývá LECO typ LM 247AT, který je vidět na obr. 26.



Obr. 26 Mikroskop LECO LM 247AT

4.3 Zkouška mikrostruktury a makrostruktury [52], [53], [54]

Makroskopická a mikroskopická zkouška se řadí mezi destruktivní zkoušky svarů a slouží k odhalení charakteristik pájeného spoje (ZM, promíšení pájky se ZM, TOO, vady, apod.).

- **Makrostruktura**

Při makroskopické zkoušce pozorujeme vzorek buďto na mikroskopu, při malém zvětšení maximálně do 50x, nebo bez použití mikroskopu vizuálně pouhým okem. Kontrola je realizována na metalograficky připraveném vzorku, který zahrnuje důležité oblasti (ZM, TOO, vady apod.). Fotky nafocené z makrostruktury se také dále hodí, při vyhodnocování mikrostruktury.

- **Mikrostruktura**

Pro zachycení mikrostruktury se využívá mikroskopů, které dosahují zvětšení 1000x a více v závislosti na využitém mikroskopu. Kontrola se opět provádí na metalograficky připraveném vzorku, který je odebrán z vyhotovené součásti a dále opracován (nařezán, zalisován, broušen, leštěn, leptán, atd.).



Obr. 27 Metalografický mikroskop MTM 406 [52]

Přístroj, na kterém byla makroskopická a mikroskopická zkouška provedena se nazývá metalografický mikroskop typu MTM 406, který lze vidět na obr. 27. Minimální zvětšení, kterého tento mikroskop dosahuje je 40x a maximální zvětšení je 400x.

4.4 Mikroanalýza chemického složení a SEM [55], [56], [57], [58]

Elektronový mikroskop je optické zařízení, pracující podobně, jako světelný mikroskop, určené k pozorování vnitřní struktury a povrchové vrstvy vzorku. Princip spočívá v tom, že světelné paprsky (fotony) jsou nahrazeny svazkem elektronů a zkoumání probíhá ve vakuu.

Z hlediska využití máme dva typy elektronových mikroskopů:

- TEM (transmisní elektronový mikroskop) – zobrazení vnitřní struktury vzorku pomocí prošlých elektronů
- SEM (skenovací elektronový mikroskop) – zobrazení povrchu vzorku, nejčastěji pomocí sekundárních elektronů (SE), nebo zpětně odražených elektronů (BSE)

V této práci bude využit skenovací elektronový mikroskop Zeiss Ultra Plus, který je vidět na obr. 28.



Obr. 28 SEM Zeiss Ultra Plus [55]

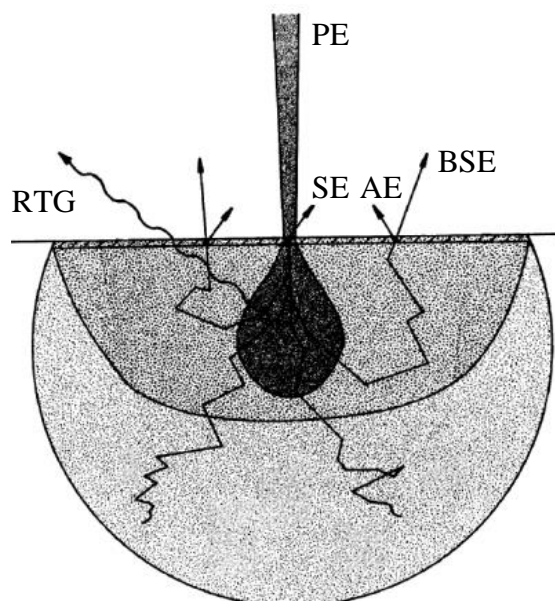
Princip funkce je takový, že primární elektronový paprsek (PE), při kontaktu se vzorkem, interaguje vyslaný svazek elektronů s atomy preparátu a dojde k emisi sekundárních elektronů (SE), zpětně odražených elektronů (BSE), RTG záření, pokud máme SEM vybavený detektorem, pro přijímání záření z vyšlého vzorku, atd., jak můžeme vidět na obr. 29. Urychlovací napětí bylo zvoleno 20 kV.

Sekundární elektrony vznikají těsně pod povrchem preparátu, tedy vykazují informace spíše o topografii. Čím více sekundárních elektronů je detektorem zachyceno, tím je zobrazený bod světlejší.

Zpětně odražené elektrony vznikají ve větších hloubkách a nesou tedy informaci o materiálovém kontrastu. Počet BSE je závislý na protonovém čísle prvku, a proto dává informaci o materiálu a jednotlivých fázích vzorku. Těžší prvky s vyšším protonovým číslem se zobrazují, jako světlejší oproti lehčím prvkům. Vzhledem k tomu, že jsou vyraženy z větší hloubky vzorku, mají menší hodnotu rozlišení než sekundární elektrony.

Mikroanalýza, nazývána taky energiově disperzní spektroskopie (EDS) prvků se provádí přijímáním rentgenového záření pomocí detektorů a je to přídavné zařízení k rastrovacímu

elektronovému mikroskopu. Analýza nejen, že odhalí, jestli se prvek ve vzorku nachází, ale dokáže zjistit, jaké množství prvku se v daném preparátu nachází.



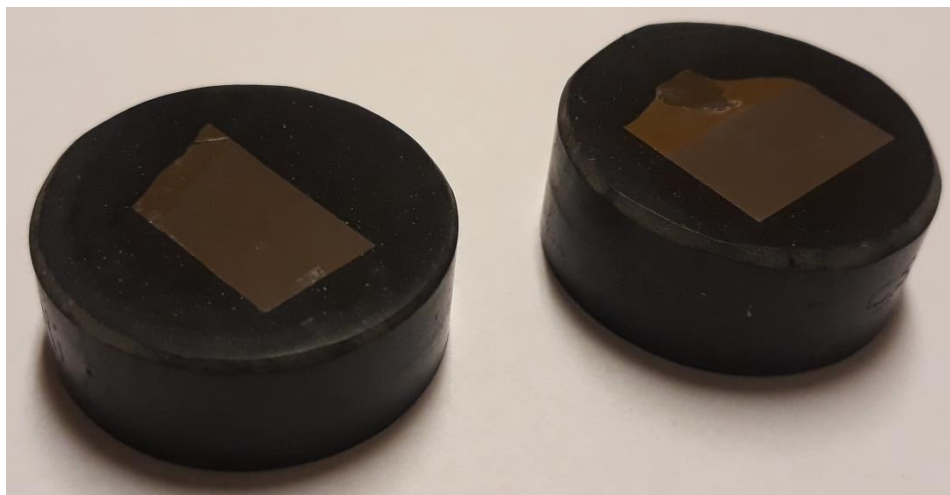
Obr. 29 Schéma interakce svazku elektronů se vzorkem [56]

4.5 Příprava vzorku pro provedení zkoušek

Příprava vzorků je velice důležitým procesem z hlediska provedení zkoušek makrostruktury, mikrostruktury a pozorování na SEM.

Nejdříve je třeba vzorky nařezat. Vzorky s tvrdými návary wolfram – karbidu na obr. 30 byly nařezány kotoučem STRUERS 40 TRE. Vzorky byly nařezány na ručním řezacím stroji STRUERS Labotom – 5, který můžeme vidět na obr. 31.

Před zalisováním do pryskyřice je třeba se ujistit, že nařezaný vzorek není od nečistot, použijeme tedy metalografický líh. Připravený vzorek se umístí do zařízení pro lisování metkon ECOPRESS 100. Před tím, než se vzorek zalisuje, je třeba potříť vrch i spodek lisu separátorem proti přilepení, aby šel vzorek dobře odejmout. Vzorek je zasypán pryskyřicovým granulátem a pro zalisování byl spuštěn 5 minutový program, který probíhal za teploty 180 °C při tlaku 25 MPa.



Obr. 30 Metalografický vzorek



Obr. 31 Řezací zařízení STRUERS Labotom – 5 [59]

K odstranění přebytku pryskyřice, nebo eventuálně otřepu, který by mohl zůstat po řezání, se použije broušení a následné leštění. Pro broušení byl využit stroj STRUERS LaboPol – 5, který je vidět na obr. 32. Proces broušení trval přibližně 20 minut. Bylo využito celkem 3 brousících kotoučů s hrubostí 200 (9 mikronová diamantová suspenze), 800 (3 mikronová diamantová suspenze) a na doleštění hrubost 1200 (1 mikronová korundová suspenze).

Následně pro znázornění reliéfu struktury se využilo leptání. Návar s typem karbidu wolframu DURIT CS s mosaznou matricí byl naleptán nitalem (3 % roztok kyseliny dusičné v etanolu).

Naleptat návar typu DURIT Ni A bylo složitější. Návar obsahoval oproti předešlé pájce niklovou matricí, která je odolná proti médiím různého typu. Nitalém se zde nepodařilo naleptat strukturu. Pro naleptání struktury byl využit kaling (5g CuCl + 100 ml HCl + 100 ml etanol).

Pro pozorování vzorku na skenovacím elektronovém mikroskopu bylo třeba strukturu znovu přebrousit a naleptat pouze nitalem, aby ZM nebyl „přepleptán“ a znehodnocen.



Obr. 32 STRUERS LaboPol - 5

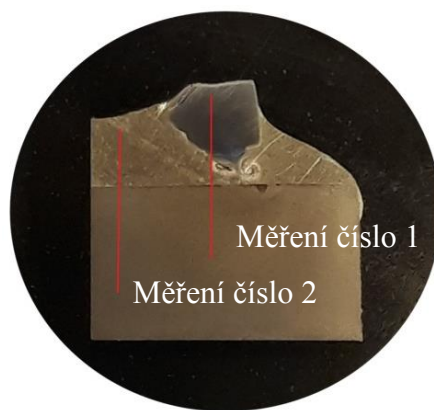
4.6 Vyhodnocení mikrotvrdomosti [60]

Měření mikrotvrdomosti probíhalo na vzorcích z mikrostruktury a makrostruktury. K danému vzorku byly provedeny vždycky celkem 2 měření. Naměřené hodnoty a vynesené data z měření číslo 1 a 2 na obou vzorcích nalezneme v 3 a 4. V práci nalezneme pouze měření číslo 1 doloženo přesným místem vyhotovení měření, jak je vidět na obr. 33 a obr. 35. Měření bylo zhotoveno v karbidu wolframu, pájce, TOO a základním materiálu. Hodnoceny budou celkem 3 místa a to WC, pájka a základní materiál. Vpichy byly zhotoveny v kroku 0,2 mm s mikrotvrdomostí HV 0,2, tedy při zatížení 200 g. Všechny hodnoty jsou doloženy přehledovým grafem na obr. 34.

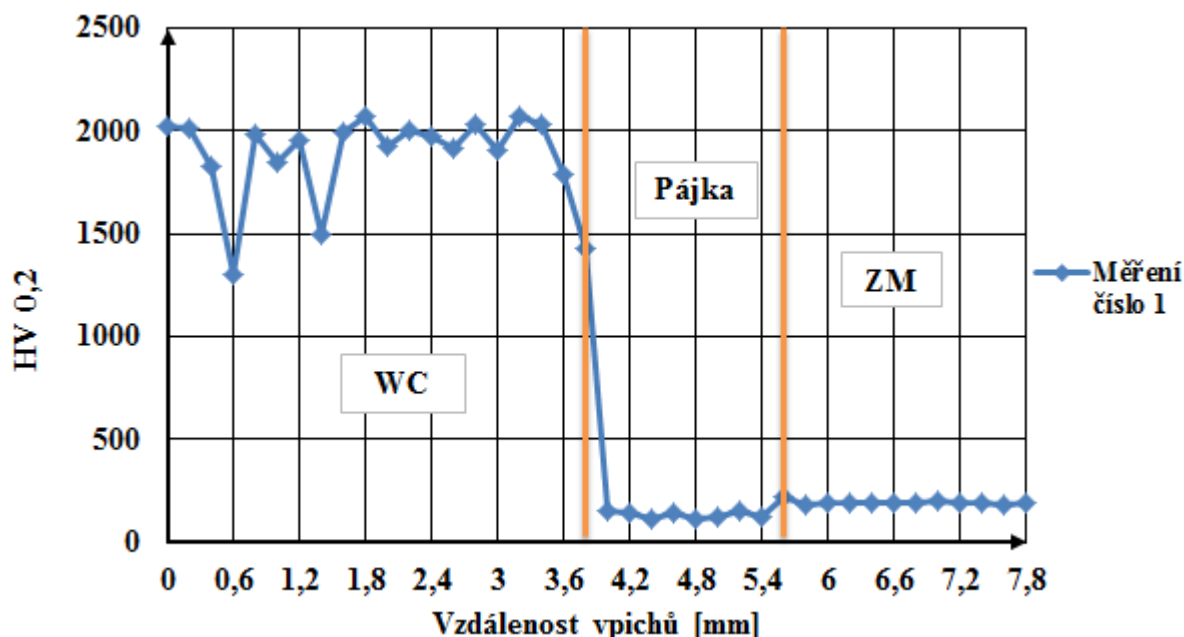
Pro posouzení tvrdosti bereme hodnoty vybrané z materiálových listů k jednotlivým pájkám, WC a ZM. Pro hodnocení tvrdosti WC zrn použijeme údaj s materiálového listu v příloze. Hodnota pro DURIT CS činí 2600 HV. Když si projdeme postupně hodnoty a srovnáme je s údajem materiálového listu, dojdeme k závěru, že karbid nemá potřebnou tvrdost. V místech 0,6 mm, 1,4 mm, 3,6 mm, 3,8 mm jsou hodnoty kriticky nízko, při porovnání hraničního údaje předepsané tvrdosti s naměřenými hodnotami. Nedostatečná tvrdost WC může být zapříčiněna skutečností, že karbidy, které se používají v pájce, jsou tzv. „dvojkové“ jakosti.

Tvrdomost mosazné matrice je 74 HRC dle přílohy 13. Pro srovnání byla hodnota převedena na Vickerse a je rovna přibližně 74 HV. Pájka nadlimitně splňuje tvrdost, tedy vyhovuje.

Hodnota tvrdosti pro základní materiál ocel S355 je mezi 146 – 187 HB. Údaj v materiálovém listu byl nalezen pouze v Brinelech, bylo tedy za potřebí, převést tuto hodnotu pomocí převodních tabulek na Vickerse a po převedení činí hodnota přibližně 146 - 192 HV. Při srovnání hodnot bylo zjištěno, že naměřené hodnoty jsou v toleranci 146 – 192 HV. ZM tedy splňuje požadovanou tvrdost.



Obr. 33 Znárodnění umístění vpichu měření



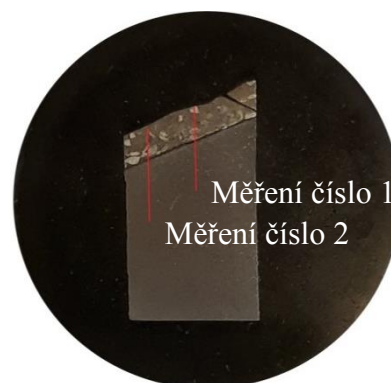
Obr. 34 Grafická závislost tvrdosti na vzdálenosti vpichů DURIT CS

Pro hodnocení tvrdosti druhého vzorku bude opět hodnocena tvrdost naměřená vůči tvrdosti z materiálového listu. Přehledový diagram můžeme vidět na obr. 36.

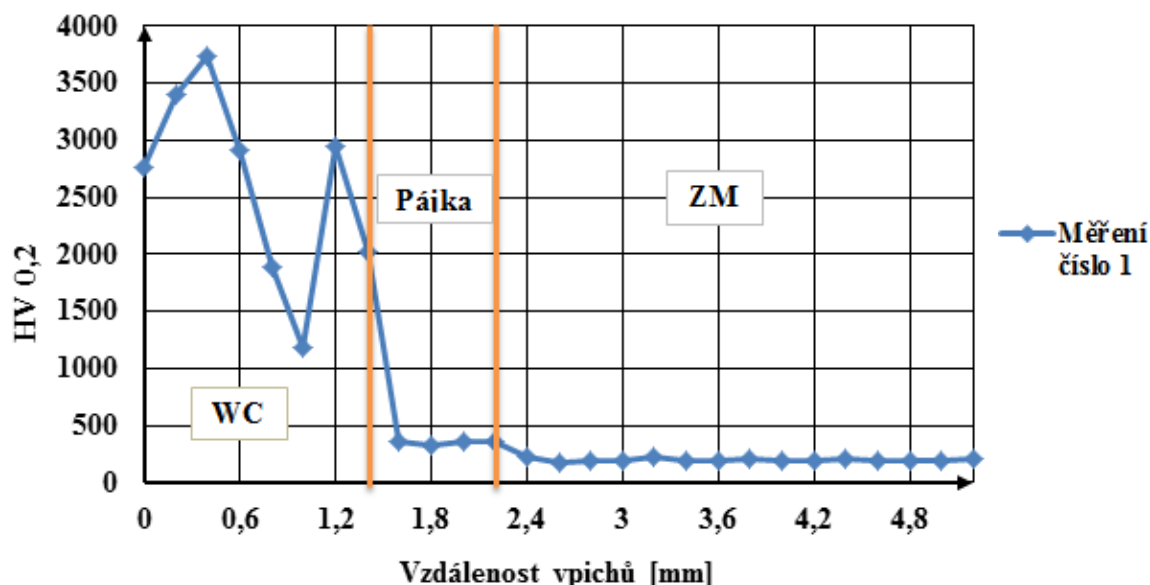
Nejprve bude hodnocen karbid wolframu. Jeho tvrdost dle přílohy 14 činí 2360 HV. Naměřené hodnoty v tomto případě velmi kolísají a je těžké rozhodnout, zda karbid wolframu vyhovuje tvrdosti uvedené z materiálového listu, či ne. S přihlédnutím k měření číslo 2, které je doloženo vzadu v přílohách, kde hodnoty WC vyšly nadlimitně, bylo zhodnoceno, že karbid wolframu vyhovuje hranici tvrdosti.

Co se týče využití matrice, kde je hlavní složkou niklová slitina, hodnota tvrdosti, dle materiálového listu činí 48 HRC. Hodnota je zde uvedena v Rockwelech, je ji tedy třeba převést a počítat s mírnou odchylkou, při převodu hodnoty. Převedený hodnota tvrdosti činí 485 HV. Údaj deklarovaný v materiálovém listě neodpovídá naměřené hodnotě.

Vzhledem k tomu, že oba návary byly realizovány na stejném vzorku základního materiálu, není třeba hodnotit opět tvrdost ZM. Na mikrostruktuře lze sice vidět jiný druh struktury, která je zapříčiněna přehřátím ZM a došlo tedy k tepelnému zpracování, konkrétně k žíhání. Tepelné zpracování ovšem nemělo výrazný vliv na tvrdost ZM. Hodnoty tvrdosti jsou přibližně stejné.



Obr. 35 Znárodnění umístění vpichu měření



Obr. 36 Grafická závislost tvrdosti na vzdálenosti vpichů DURIT Ni A

Tab. 8 Celkový přehled výsledků tvrdosti

Druh PM	Hodnocená část	Průměrná hodnota tvrdosti [HV]	Hodnota tvrdosti dle mat. listu [HV]	Zhodnocení
DURIT CS	WC	1880,3	2600	Nevyhověl
	Pájka	134,9	74	Vyhověl
	ZM	193,3	146 - 192	Vyhověl
DURIT Ni A	WC	2607,4	2360	Vyhověl
	Pájka	354,5	485	Nevyhověl
	ZM	198	146 - 192	Vyhověl

4.7 Vyhodnocení makrostruktury

- DURIT CS

Na obr. 37 lze vidět označení přesného místa, kde byla na metalografickém vzorku nafocena makrostruktura. Níže na obr. 38 lze vidět samotnou makrostrukturu pájeného PM se základním materiálem. Při použité technologii tvrdého pájení plamenem, kde jsou teploty předehřevu a samotného procesu pájení vysoké, lze vidět jen velmi malou TOZ. Dále na hranici wolfram – karbidu a pájky, může být pozorována černá skvrna v podobě plynové bubliny, která mohla vzniknout díky reakci vodíku se zinkem a způsobit pórovitost, nedodržením správného plamene, tedy použitím okysličujícího plamene, apod. Prasklina na karbidu by mohla vzniknout při samotné výrobě, tepelnými procesy, zalisováním do pryskyřice, nebo nařezáním vzorku.



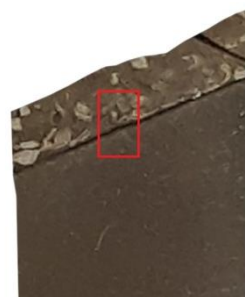
Obr. 37 Označení místa z makrostruktury



Obr. 38 Makrostruktura DURIT CS při 40x zvětšení

- DURIT Ni A

Na obr. 39 lze vidět, odkud byl vzorek z makrostruktury odebrán. Stejně, jako na předešlém snímku je zde zahrnuta oblast ZM, TOO a pájka obsahující zrna WC. Snímek z makrostruktury je vidět na obr. 40. Opět zde můžeme pozorovat malou TOZ. Uprostřed snímku lze vidět v karbidu shluk černých teček zapříčiněný nejspíše vadou v podobě nedolisování prášku.



Obr. 39 Označení místa z makrostruktury



Obr. 40 Makrostruktura DURIT Ni A při zvětšení 40x

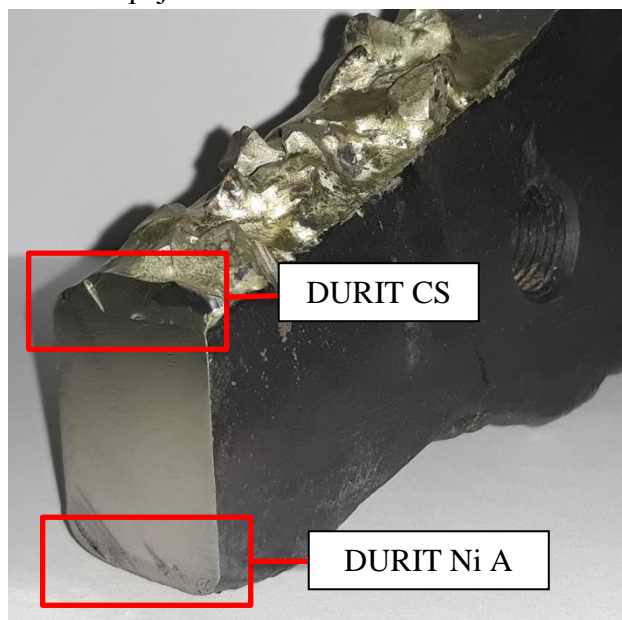
4.8 Vyhodnocení mikrostruktury

Při vyhodnocování mikrostruktury se opět zaměříme na ZM, TOO a pájku s karbidy wolframu, ale budou zkoumány při větším přiblížení. Přesné umístění odebraných snímků z mikrostruktury lze vidět v příloze 15 a 16.

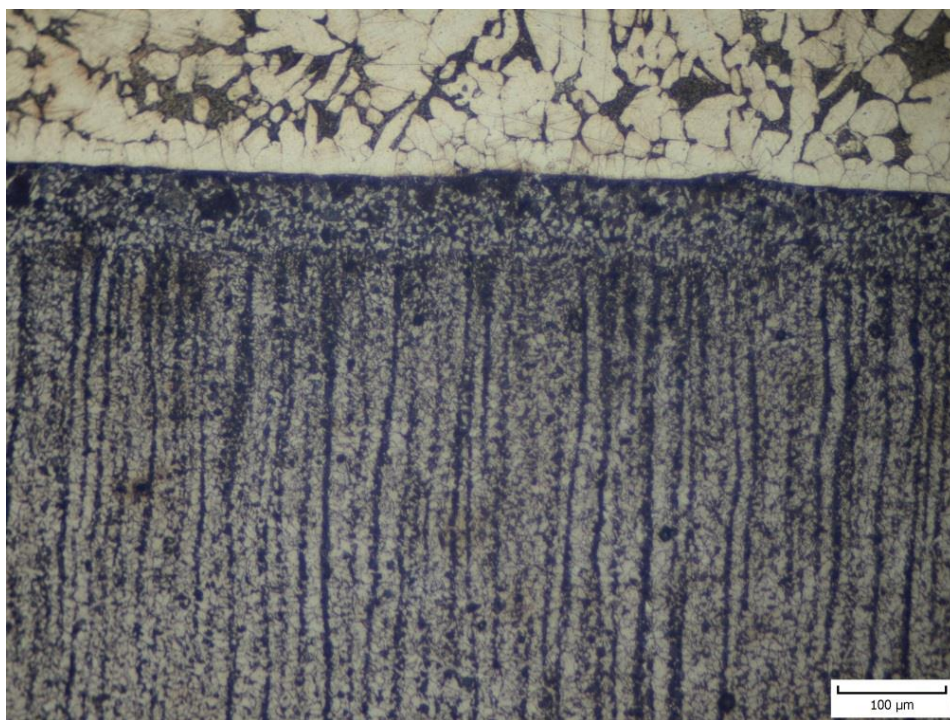
Zajímavostí se kterou se setkáváme na snímcích, jak z makrostruktury, tak i s mikrostruktury je změna struktury ZM při nanesené pájce DURIT CS a DURIT Ni A. Oba preparáty byly odebrány z jednoho odkorňovacího nože, kdy jeden PM byl nanesen z jedné strany nože a druhý z opačné strany nože, jak může být viděno na obr. 41. V ideálním případě by bylo vhodné mít navařené obě přídavné pájky zvlášť na ZM.

Na obr. 43 lze vidět strukturu, která je typická pro ocel S355 (feriticko – perlitická struktura), kde ferit zde tvoří ta světlejší „bílá“ místa a tmavší „černá“ místa jsou v podobě perlitu. Stejná struktura se vyskytuje na obr. 42, jen zde došlo k pootočení vzorku, tedy preparát nebyl zalisován do vzorku podélně, ale příčně. Struktura, kterou lze vidět na obr. 43 je struktura po tváření, konkrétně válcování.

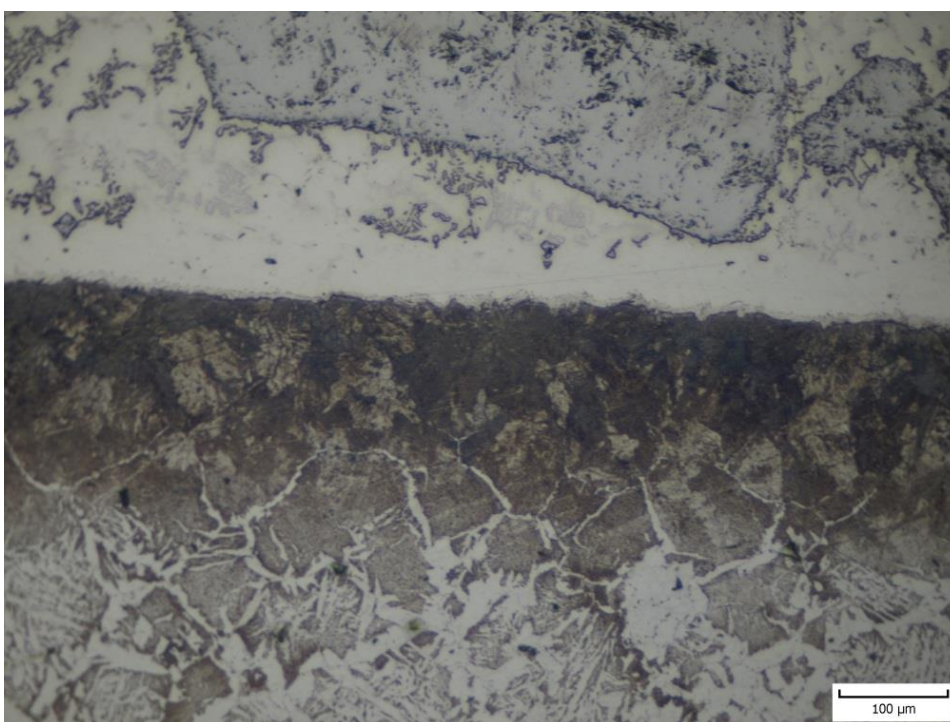
Dále zde může být pozorováno hrubnutí zrna v okolí TOZ z důvodu přehřevu a následného navýšení hořákem při navařování. Hrubnutí zrna lze pozorovat také v příloze 16, snímek 2, kde lze vidět růst zrna směrem k TOO. Dále zde nalezneme na snímku 4 v příloze 14 vady v pájeném spoji a to konkrétně špatnou „smáčivost“ pájky ZM.



Obr. 41 Znázornění místa nanesených pájek



Obr. 42 DURIT CS, TOO, 200x zvětšení

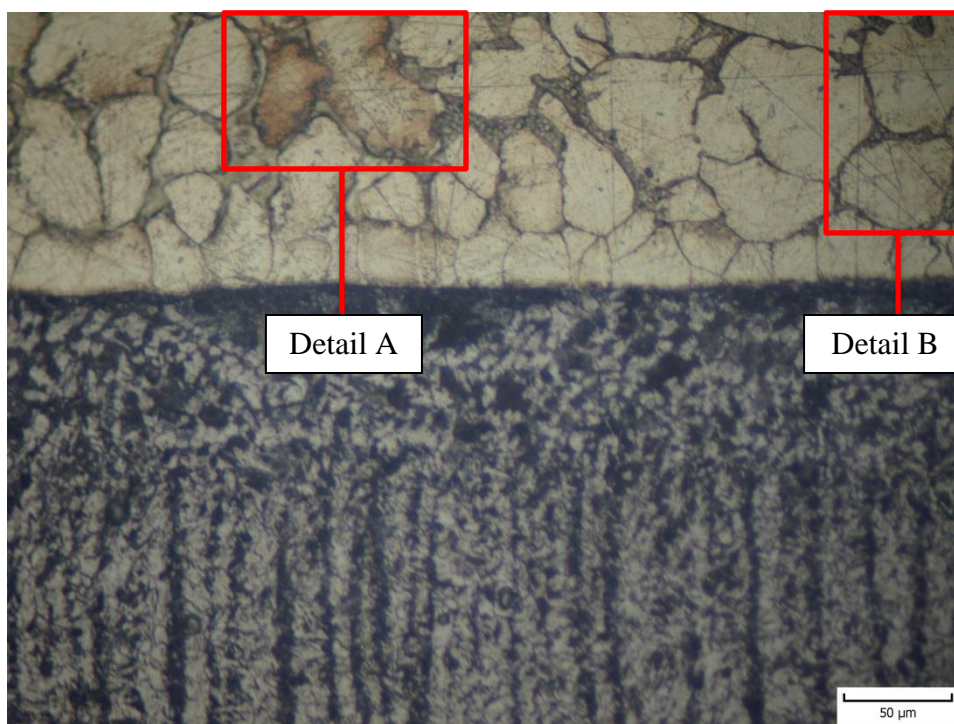


Obr. 43 DURIT Ni A, TOO, 200x zvětšení

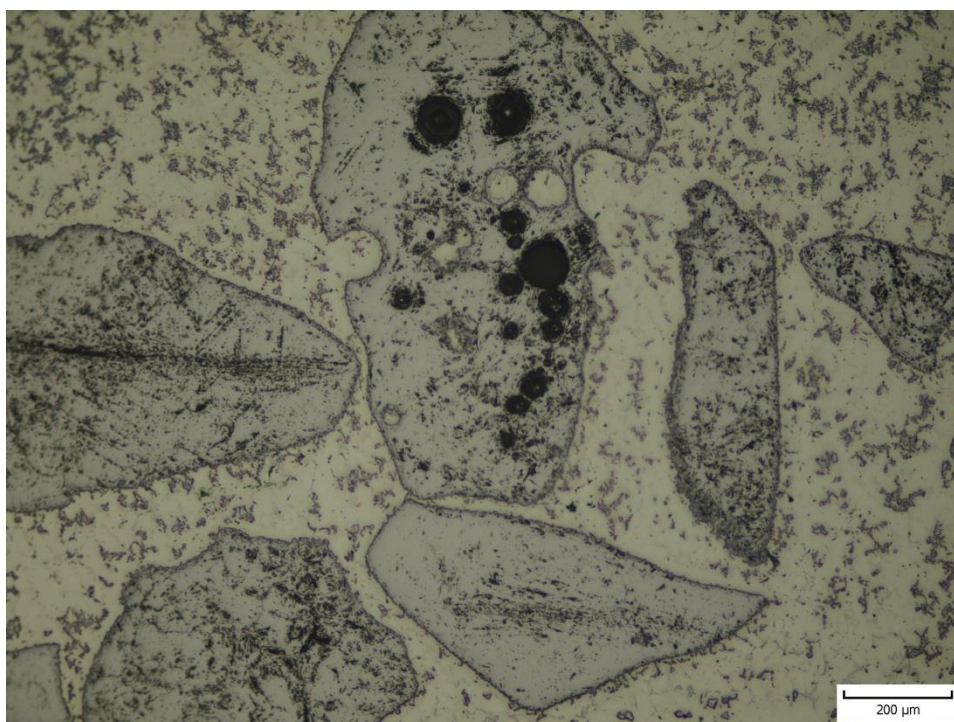
- Hodnocení pájky s wolfram - karbidy
 - DURIT CS

Pájka, jak již bylo zmíněno dříve má mosaznou matici (Zn + Cu + další prvky). Mosaz lze na obr. 44 poznat tak, že se vyznačuje jasnou „bílou“ barvou zrn. Zrna, která jsou zbarvena více do „červena“ (detail A), tak obsahují více

mědi a zrna, která jsou více do „žluta“ (detail B), tak jsou bohatší na zinek. Na hranicích zrn mosazi se vylučuje z pájky nikl a křemík (tmavá „černá“ barva). Jiný snímek tohoto vybarvení nalezneme v příloze 15, snímek 2, kde lze vidět, jak se pájky chová v okolí WC zrna. Dále zde lze pozorovat na snímku 5 vadu „smáčivosti“ pájky. Když se podíváme na snímky 5 a 6 lze zde vidět, že se zde objevuje jakýsi tmavší pás na okraji WC zrna. Na snímku 5 lze vidět, že tento pás je přerušen. Mohlo by se zde jednat o změnu struktury.



Obr. 44 DURIT CS, pájka, 400x zvětšení



Obr. 45 DURIT Ni A, pájka, 100x zvětšení

- DURIT Ni A

Na obr. 45 je vyobrazena struktura pájky DURIT Ni A, která má niklovou matici s dalšími prvky. Uvnitř matrice jsou ukotvena zrna wolfram – karbidu typu FTC. Okolo karbidu wolframu je pájka, která je světlé „bílé“ barvy v podobě niklu s vyloučeným křemíkem v pájce. Tmavší „černé“ útvary tvoří tvrdé fáze Cr a B. Jiný snímek mikrostruktury mezi ZM a pájkou lze vidět v příloze 16, snímek 1.

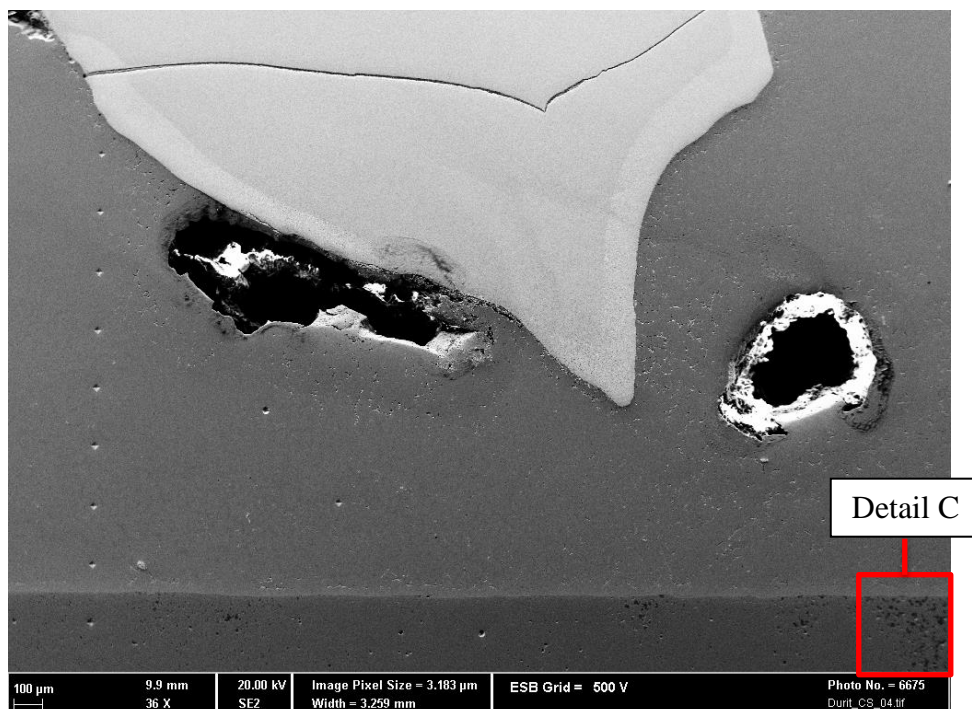
4.9 Vyhodnocení snímků SEM a mikroanalýzy

Vyhodnocení tohoto bodu jak již napovídá nadpis kapitoly, se bude zabývat dvěma záležitostmi. Nejprve budou vyhodnoceny snímky z elektronového mikroskopu a následně budou veškeré domněnky z makrostruktury, mikrostruktury i fotek z elektronového mikroskopu podloženy chemickou mikroanalýzou. Zkoumané oblasti z obou PM materiálů bude TOO, pájka, přechody mezi WC – pájka, atd. Budou vyhodnoceny tři typy analýz a to plošná, liniová a bodová. Všechny podklady k EDS analýze jsou k nahlédnutí v přílohách.

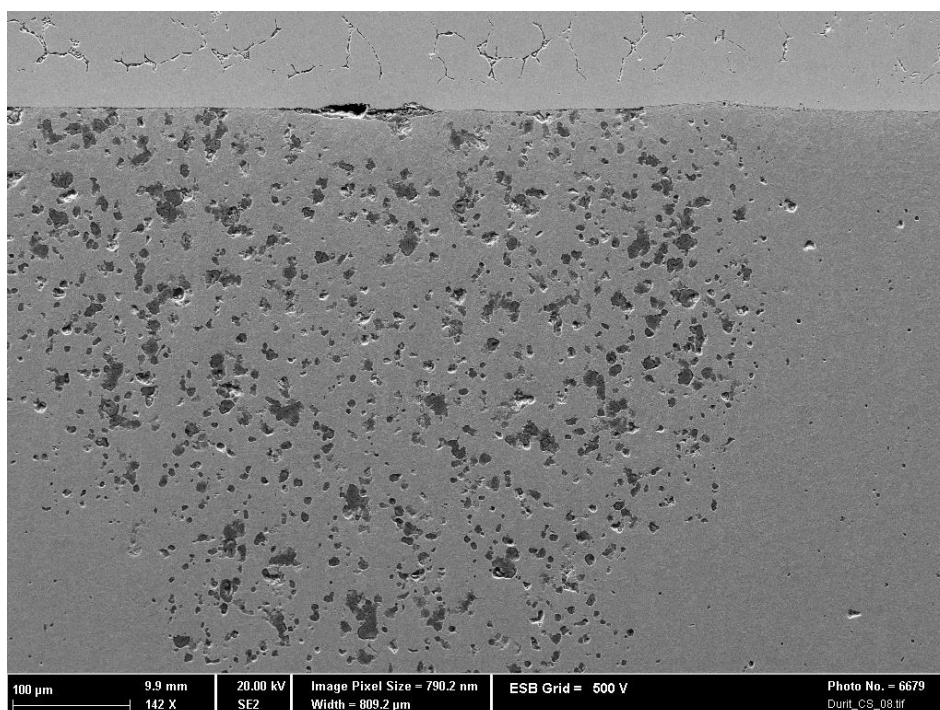
- DURIT CS

Na obr. 46 si lze všimnout značných vad jak v pájce, tak v základním materiálu. Na snímku lze vidět dva velké černé útvary v podobě bublin. K bublině ve spoji může dojít buďto uzavřením plynů CO, či H₂, nebo vzduchem ve spoji.

Dále v detailu C lze pozorovat jakýsi shluk černých teček. Na obr. 47 může být sledován pod větším zvětšením. Zda se jedná o shluk pórů, který se vyznačuje vzduchem ve spoji, bude rozhodnuto na základě přílohy 8, kde byla provedena bodová analýza (body 7, 8, 9). V bodě číslo 7 a 8 se ve spoji objevilo větší množství kyslíku (~30 %), na základě této skutečnosti bylo rozhodnuto, že se jedná skutečně o pórovitost v ZM. Bod 9 vykazuje běžnou strukturu ZM. Na obr. 47 může být dále vidět na rozhraní pájka – ZM špatná „smáčivost“ základního materiálu. Na obr. 46 ze sekundárních elektronů, může zde být viděno na okraji WC světlé pásmo. Když jej porovnáme s obr. 48 ze BSE, lze vidět, že se zde světlejší pásmo neobjevilo. Pravděpodobně se zde bude jednat o sklon wolfram karbidu od výroby.



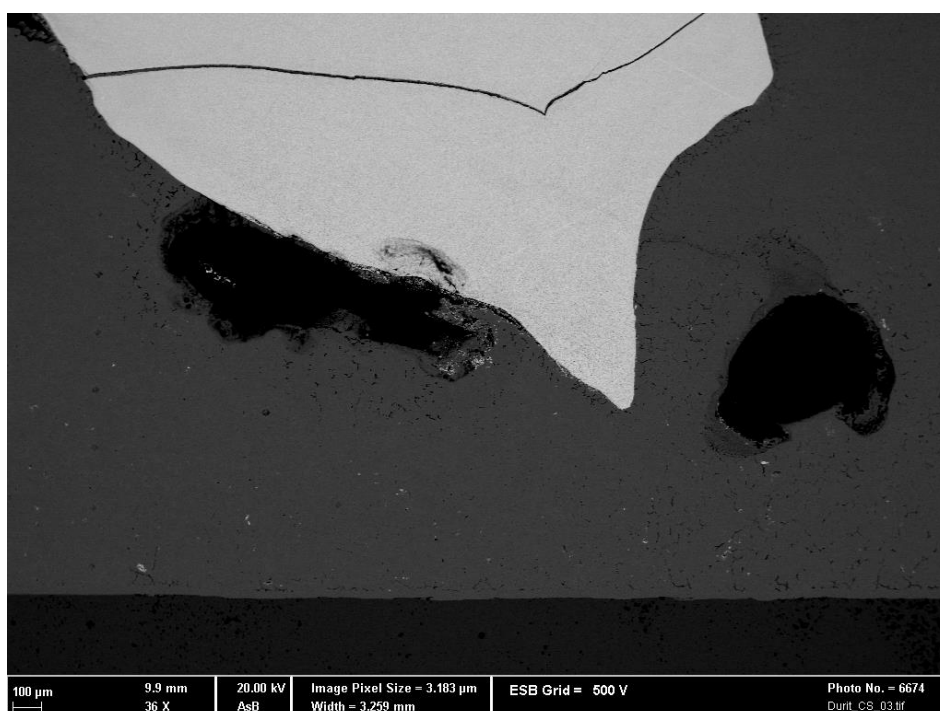
Obr. 46 Makrostruktura DURIT CS, 36x zvětšení, SE



Obr. 47 Detail C, Shluk pórů, 142x zvětšení DURIT CS, SE

Podobný jev může být vypořádán i z EDS analýzy v příloze 6, kde se toto světlé pásmo také objevuje. EDS analýza je hodnocena ze zpětně odražených elektronů, proto je zvláštní, že se zde toto pásmo objevuje a na obr. 48 ze BSE se tento jev neobjevuje. Ve vzdálenosti 180 – 290 μm došlo k navýšení W, proto ten světlejší kontrast a ke snížení Co.

V příloze 5 lze vidět plošnou analýzu pájky DURIT CS, kde chemické složení odpovídá složení v materiálovém listu v příloze 13.



Obr. 48 Makrostruktura DURIT CS, 36x zvětšení, BSE

Dále byla provedena liniová analýza na rozhraní pájky a ZM (TOZ), která je k nahlédnutí v příloze 7. Zajímavostí, která se zde objevuje, že se zde nevytloučili žádné prvky ze ZM do pájky, nebo jen velmi málo. O prvcích Ni, Zn a Co by se dalo říci, že na základě snímku obsahu prvků na linii dochází alespoň k částečné difuzi po hranici zrn do ZM.

- **DURIT Ni A**

První analýzou, která byla provedena na vzorku DURIT Ni A byla plošná analýza. Z materiálového listu bylo vyčteno, že pájka obsahuje NiCrBSi, ale alespoň přibližný obsah prvků zde není. Přibližný obsah prvků nalezneme v příloze 9, kde největší zastoupení má Ni.

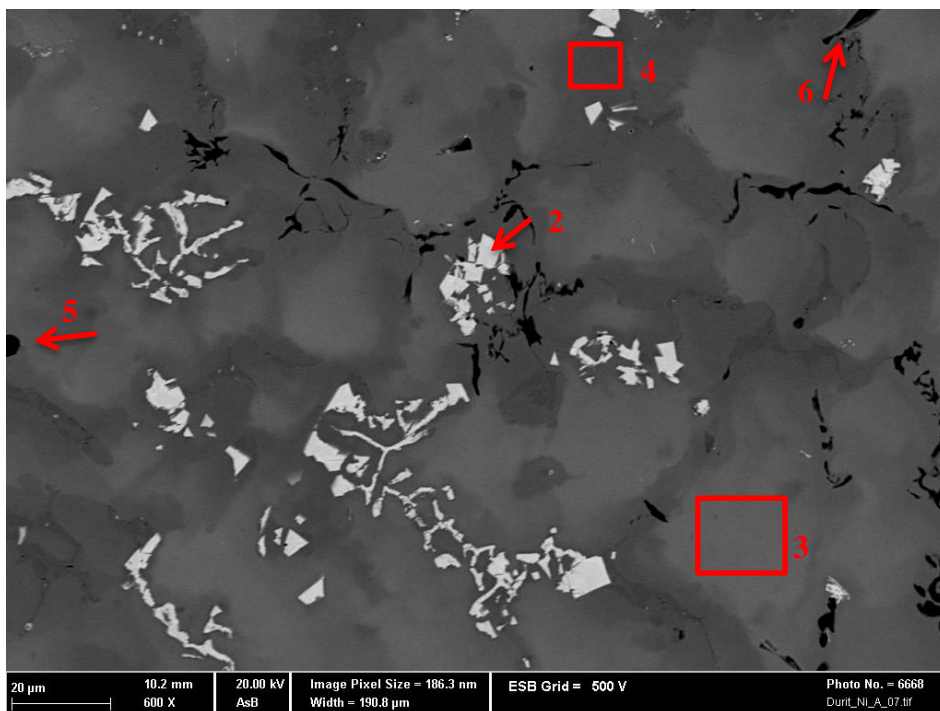
V příloze 10 lze pozorovat rozhraní WC – pájka. Jedinou zajímavostí, která se zde vyskytuje je větší obsah C a Fe, který může být zaviněn ocelovým obalem trubičkového drátu.

Rozhraní pájka – ZM (TOO) můžeme pozorovat v příloze 11. Můžeme zde pozorovat natavení Fe do pájky ze ZM. Ve vzdálenosti 15 μm je zde vidět průchod přes karbid wolframu, že procento Ni klesá a procento W roste.

V příloze 12 můžeme sledovat bodovou analýzu pájky DURIT Ni A.

U bodu 2 se jedná o drobnější zrno wolfram – karbidu.

U všech ostatních vyšetřovaných míst (body 3- 6) je vždy buď větší procento wolframu, při nižším procentu niklu a naopak. Kolísají zde i jiné prvky, ale ne v tak velké míře. Ve všech bodech je stejný druh prvků jen v menším, či větším procentu, proto ten materiálový kontrast. Zachytit jednotlivé fáze je zde velmi složité a chtělo by udělat důkladnější analýzu chemického složení. Výskyt uhlíku a železa v jakékoliv míře je zde způsoben natavením ocelové trubičky do pájky.



Obr. 49 Mikrostruktura, pájka, DURIT Ni A, 600x zvětšení, BSE

5 ZÁVĚRY

Cílem bakalářské práce bylo zhodnotit současný stav aplikace tvrdého pájení na odkornovací nůž. Na danou technologii pájení plamenem byla vypracována literární rešerže, kde byl zhotoven důkladný popis přídavných materiálů, technologie, rozbor součástí, apod. Byl vypočítán uhlíkový ekvivalent, kde bylo zjištěno, že je nutno před pájením materiál přehřívat v topných dečkách. Na nůž byla nanesena ze dvou stran pájka s WC zrný. Jedním z bodů práce bylo pokusit se „naklasifikovat“ páječe a zkoušky na pájený spoj. Páječe se dle normy ČSN EN ISO 13 585 podařilo „naklasifikovat“. U zkoušek pájecího postupu dle normy ČSN EN 13134 se bohužel nepodařila pájka s WC zrný klasifikovat, protože v normě je uvedeno, že na spoji musí být vyhotovena alespoň jedna z nedestruktivních zkoušek, což v případě mé aplikace není možné. Zkoušky budou tedy provedeny dle potřeby. Byl vyhotoven metalografický vzorek dvou nánosů pájky s WC zrný a zalisován do pryskyřice pro destruktivní zkoušky. První zkouškou, která byla na pájené vrstvě vyhotovena, byla vizuální zkouška. Na mosazné pájce nebyly pouhým okem nalezeny žádné vady, ovšem na niklové pájce se na povrchu objevily bubliny a pórovitost. Další důležitou zkouškou, která byla provedena, byla zkouška mikrotvrdosti dle Vickerse. Na každém ze vzorků byly provedeny celkem dvě měření, ovšem v práci bylo vyhodnocováno pouze měření číslo 1 s přihlédnutím k měření číslo dvě. Naměřená tvrdost byla srovnána s hodnotami z materiálového listu. Byly hodnoceny celkem tři místa a to WC, pájka a základní materiál. Při hodnocení tvrdosti slitiny DURIT CS nevyhovělo pouze WC zrno. Při hodnocení druhého PM vyhovělo vše kromě pájky. Dále byla na vzorcích provedena zkouška makrostruktury a mikrostruktury. V obou pájkách bylo vyzorováno značné množství vad především ze špatné „smáčivosti“, nebo vzduchové bubliny. Bylo zde také odhadnuto složení pájky a vyobrazení jednotlivých pochodů v pájce. Nakonec celé měření tvrdosti a snímky z makrostruktury a mikrostruktury byly podloženy snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu, kde na BSE bylo sledováno chemické složení jednotlivých míst. Byly zde sledovány jednotlivé rozhraní a zajímavé útvary ve struktuře a vyhodnocovány na základě obsahu jednotlivých prvků, nebo rozdílů mezi SE a BSE. Vzhledem k množství vyzorovaných vad v podobě bublin by bylo vhodné zamezit přístup vzduchu, nebo lépe „odladit“ poměr kyslíku a acetylenu před pájením a dbát na správný plamen při pájení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [1]

1. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
2. KUDĚLKA, Vladimír. *Tvrdé pájení*. Vyd. Brno: TESYDO, 2011, 47 s. ISBN 978-80-87102-03-9.
3. KUČERA, Jan. *Teorie svařování - část 2*. Ostrava: VŠB, 1994, 402 s.
4. HERMAN, Petr. Wolframkarbid. *Technikaatrh* [online]. Brno: Wirpo, 2009 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/komponenty/wolframkarbid-elita-mezi-navarovymi-materialy>
5. KOLEŇÁK, Roman a Michal PRACH. *Spájkovanie*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015, 285 s. ISBN 978-80-227-4327-3.
6. Alibaba. *Odkorňovač stroj* [online]. Španělsko, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/hot-sale-wood-branch-debarking-machine-wood-skin-peeling-machine-60287476175.html?spm=a2700.8699010.normalList.25.31104f3037eMIH>
7. Stěnování. In: *Těžba a využití černého uhlí* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://tezba-a-vyuziti-cerneho-uhli.webnode.cz/hornictvi/dobyci-metody/stenovani/>
8. Cutting head. In: *Raptor* [online]. Kanada: 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.raptormining.com/products/#defender>
9. Ocel: ČSN 11 523. *CZ FERRO Steel* [online]. Napajedla, Jižní Morava: [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky1-11523.pdf>
10. S355. *Production inform* [online]. Duisburg: 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content_1/publikationen/precision-steel.com/media/content_1/publikationen/precision_steel/produktinformationen_1/bau-stahl/thyssenkrupp_s355jr_product_information_precision_steel_en.pdf
11. Nanášení tvrdokovu. *DYNALLOY INDRUSTRIES, INC.* [online]. USA: x, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://dynalloyinc.com/dynarod/dynarod-sb/>
12. MINAŘÍK, Václav. *Plamenové svařování*. Praha: Scientia, 1997. ISBN 80-7183-080-1.
13. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
14. LÖBL, Karel. *Tvrdé návary*. Brno: SNTL, 1955, 80 s.
15. SIGMUND, Marián. *Svařování plamenem, aluminotermické svařování*. Podklady. Brno.
16. Kyslíko - acetylenová souprava. In: *Svářečské potřeby - Sadílek* [online]. Praha 4: 2009 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://svarecskepotreby.cz/svarovaci-soupravy.html>
17. ČSN EN 10 89 - 3 (07 8500). *Láhve na přepravu plynů: Označování láhví*. x: x, 1998.

18. Acetylen. *Linde Gas a.s.* [online]. Praha 9: x, x [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/17345590-3-acetylen-neexistuje-lepsi-horlavy-plyn-pro-plamenove-technologie-acetylen-neexistuje-lepsi-horlavy-plyn-pro-plamenove-technologie.html>
19. Svařovací hořák. In: *Svářecí technika Krejčík* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.svarovaci-technika-krejcik.cz/prodej-svarovaci-techniky-a-prislusenstvi/injektorova-svarovaci-souprava-u7-acetylen/>
20. HERMAN, Petr. *Postup pájení*. Brno, 2012
21. PAGÁČ, Aleš. *Návary proti opotřebení*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2014.
22. KUBÍČEK, Jaroslav. *RENOVACE A POVRCHOVÉ ÚPRAVY*. Brno: 2012, 90 s.
23. Navařování plazmou. *Navařování kobaltové slitiny plazmou* [online]. Brno: 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=172828
24. Navařování laserem. In: *LaserTherm spol. s.r.o.* [online]. Plzeň: 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.lasertherm.cz/sluzby/laserove-navarovani/>
25. ČSN EN 13134. *Tvrdé pájení: Zkouška postupu pájení*.: český normalizační institut, 2001.
26. ČSN EN ISO 13 585. *Tvrdé pájení: Kvalifikační zkouška páječů a operátorů tvrdého pájení*.: český normalizační institut, 2013.
27. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
28. Ocel: ČSN 11 523. *CZ FERRO Steel* [online]. Napajedla, Jižní Morava: [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky1-11523.pdf>
29. RUŽA, Viliam. *Pájení*. 2. upr. a dopl.vyd. Praha: SNTL, 1988, 452 s.
30. Vývoj a realizace šesti-sekčního moderního žíhacího zdroje. In: *VŠB* [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2017 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~hrb02/Projekty/Zav_zprava_Svarservis_MPO_2017/Zaverecna_zprava_Svarservis_MPO_2017.pdf
31. Topné dečky. *WIRPO* [online]. Brno: 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/mobilni-tepelne-zpracovani/elektricke-odporove-ohrevy/topne-decky>
32. *HEATMASTERS the wizards of metal: Topné dečky*. Plzeň: 2013, 42 s.
33. Tvrdé pájení. *CHEM-WELD s.r.o.: Svářecí materiály* [online]. Ústí nad Labem: 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://eshop.chemweld.cz/Tvrde-pajeni-b4050.htm>
34. Termokřída. *Metaweld* [online]. Česká republika, Praha 9, Letaňany: [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.metaweld.cz/eshop/svareci-technika/prislusenstvi-ke-svareckam/cisteni-lesteni-a-znaceni-svaru/termokrida-850-c/>

35. Tungsten carbide Application. In: *Nanoshel: creating miracle in black* [online]. Indie: 2015 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.nanoshel.com/tungsten-carbide-application>
36. BELL, Terence. Tungstene: Properties, production. *Thebalance* [online]. 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.thebalance.com/metal-profile-tungsten-2340159>
37. Vlastnosti fází wolfram karbidu. *Vlastnosti kovo-keramického návaru s vloženými zrny karbidů wolframu* [online]. Ostrava: VŠB, 2017 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/116927/KOZ323_FS_P2346_2303V002_2017_autoreferat.pdf?sequence=2&isAllowed=y
38. Carburization. *ScienceDirect: International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* [online]. : ELSEVIER, 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_265345.pdf
39. UTULOV, Alexander a Chun TSIN WANG. Tungsten processing. *ENCICLOPEDIA BRITANNICA* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/tungsten-processing#ref623258>
40. Výroba karbidu wolframu. *SLINUTÉ KARBIDY A JEJICH EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ* [online]. Brno: 2010 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29889
41. Tungsten carbide and its Derivates. *DURUM VERSCHLEISS - SCHUTZ GMBH* [online]. USA: [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://durmat.com/en/products/tungsten-carbide-and-its-derivatives/#durmat-ffc>
42. Přídavný materiál: DURMAT CS. *DURUM VERSCHLEISS - SCHUTZ GMBH* [online]. Německo: [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://durmat.com/en/products/fused-tungsten-carbide-products/#oxy-acytelene-welding>
43. Přídavný materiál: DURMAT NIA. *DURUM VERSCHLEISS - SCHUTZ GMBH* [online]. Německo: [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://durmat.com/en/products/fused-tungsten-carbide-products/#oxy-acytelene-welding>
44. Tungsten carbide. *DURUM VERSCHLEISS - SCHUTZ GMBH* [online]. Německo: 2017 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://oilsandstradeshows.com/wp-content/uploads/2018/08/DURMAT%C2%AE-PTA-Powders-Rev.-1.2.pdf>
45. Přídavný materiál: DURIT CS. *WIRPO* [online]. Brno: 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/produkty/345/>
46. Přídavný materiál: DURIT Ni A. *WIRPO* [online]. Brno: 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/produkty/346/>
47. KOLEŇÁK, Roman a Michal PRACH. *Spájkovanie*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015, 285 stran: ilustrace. ISBN 978-80-227-4327-3.

48. BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2000, 213 s. ISBN 80-85771-72-1.
49. Tvrdost. In: *ConVERTER* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-vickers.htm>
50. Měření tvrdosti. *HANYKO Praha s.r.o.* [online]. Praha: 2016 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.hanyko-praha.cz/produkty/tvrdomery/co-je-tvrdost-a-jak-se-meri/zkouska-tvrdosti-podle-vickerse/>
51. Zkouška tvrdosti dle Vickerse. *MEDUNA* [online]. Pardubice: 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.kalirna.cz/cz/sluzby/item/36-mereni-tvrdosti.html>
52. Metalografický mikroskop. In: *INTRACO MICRO, spol. s.r.o.* [online]. Tachlovice: 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.mikroskopy-optika.cz/produkt/metalograficky-mikroskop-mtm-406>
53. Problematika hodnocení struktur. *KONSTRUKCE* [online].: 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>
54. *Destruktivní metody kontroly svarových spojů*. Vyd. Brno: 2014.
55. Rastrovací elektronový mikroskop. In: *UNIVERSITÄT WÜRZBURG* [online]. Německo: [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.roentgen-zentrum.uni-wuerzburg.de/en/joint-analytical-laboratory/fe-sem-zeiss-ultra-plus/>
56. KOPEČEK, Jaromír. Schéma interační oblasti. In: *FZÚ AV ČR* [online]. Česká republika: 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://utf.mff.cuni.cz/~jobdr/download/U3V/2017-8/SEM.pdf>
57. CAIS, Jaromír. *Elektronová mikroskopie*. Vyd. Praha: Centrum pro studium vysokého školství, 2015. ISBN 978-80-86302-67-6.
58. MAŇKA, Tadeáš. *SROVNÁNÍ ZOBRAZOVACÍCH MOŽNOSTÍ TRANSMISNÍHO A RASTROVACÍHO ELEKTRONOVÉHO MIKROSKOPU*. Brno, 2014. Inženýrská. VUT. Vedoucí práce Jakub Zlámal.
59. Cutting device. In: *Aimil: Instrumentation and Technology* [online].: [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.aimil.com/products/labotom-5>
60. Převodní tabulka tvrdosti. *ConVERTER* [online].: [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost-online.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
AE	Augerovy elektrony	[-]
Al	Hliník	[-]
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý	[-]
APT	Automatické svařování pod tavidlem	[-]
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý	[-]
B	Bor	[-]
BSE	Zpětně odražený elektron	[-]
C	Uhlík	[-]
C ₂ H ₂	Acetylen	[-]
Cc	Koeficient	[%]
Ce	Uhlíkový ekvivalent	[-]
Co	Kobalt	[-]
CO	Oxid uhelnatý	[-]
Cr	Chrom	[-]
Cp	Koeficient	[-]
Cr ₂ O ₃	Oxid chromitý	[-]
Cu	Měď	[-]
EDS	Energiově disperzní analýza	[N]
F	Síla	[-]
FCAW	Flux cored arc welding, obloukové svařování plněnou trubičkou	[-]
FTC	Fused tungsten carbide	[-]
H	Vodík	[-]
H ₂	Vodík	[-]
HV	Tvrdost ve Vickersech	[-]
HV0,01	Tvrdost ve Vickersech při zatížení 10 g	[-]
HV0,2	Tvrdost ve Vickersech při zatížení 200 g	[-]
HV5	Tvrdost ve Vickersech při zatížení 5 kg	[-]
HV100	Tvrdost ve Vickersech při zatížení 100 kg	[-]
MAG	Metal inert gas, svařování v aktivní atmosféře	[-]
Mn	Mangan	[-]
Mo	Molibyden	[-]
NiCr	Chromnikl	[-]
O	Kyslík	[-]
O ₂	Kyslík	[-]
P	Fosfor	[-]
PM	Přídavný materiál	[-]
PTA	Plazma	[-]
R _e	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
s,t	Tloušťka materiálu	[mm]
Si	Křemík	[-]
SE	Sekundární elektron	[-]
SEM	Rastrovací elektronový mikroskop	[-]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[-]
TOZ	Tepelně ovlivněná zóna	[-]
Si	Křemík	[-]
SE	Sekundární elektron	[-]
ZM	Základní materiál	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Aplikace pájení WC zrn [14]	9
Obr. 2 Odkorňovač [13]	9
Obr. 3 Hřidel bubnovitého tvaru [11].....	10
Obr. 4 Odkorňovací nůž s napájenými zrny DURIT CS[16]	10
Obr. 5 Tvrdé pájení WC zrn typu DURIT CS [31]	11
Obr. 6 Rozdělení druhu pájení [33].....	11
Obr. 7 Popis plamene [34].....	12
Obr. 8 Ksyliko – acetylenová souprava [30]	12
Obr. 9 Druhy plamene podle poměru $O_2: C_2H_2$ [18].....	14
Obr. 10 Konstrukční řešení nástavců vzhledem k odraženému teplu [16].....	14
Obr. 11 Hořák běžné konstrukce [8]	15
Obr. 12 Směr nanášení, směr vpřed (vlevo), směr vzad (vpravo)[11]	15
Obr. 13 Navařování WC zrn elektrodou[16].....	16
Obr. 14 Navařování WC zrn APT [31]	16
Obr. 15 Navařování WC zrn, MAG[33]	16
Obr. 16 Navařování WC zrn, FCAW [34]	17
Obr. 17 Navařování WC zrn, PTA [30]	17
Obr. 18 Navařování WC zrn laserem [18]	17
Obr. 19 Tponé dečky, typ VHV [16]	20
Obr. 20 Termokřída [8]	21
Obr. 21 Karbid wolframu v podobě prášku [33]	21
Obr. 22 Proces karburace [34].....	22
Obr. 23 WC s mikrostrukturou FTC [30].....	23
Obr. 24 WC s mikrostrukturou SFTC [18]	23
Obr. 25 Schéma zkoušky dle Vickerse [16]	27
Obr. 26 Mikroskop LECO LM 247AT [8].....	28
Obr. 27 Metalografický mikroskop MTM 406 [33].....	28
Obr. 28 SEM Zeiss Ultra Plus [34]	29
Obr. 29 Schéma interakce svazků elektronů se vzorkem [30]	30
Obr. 30 Metalografický vzorek [18]	30
Obr. 31 Řezací zařízení STRUERS Labotom - 5 [16]	31
Obr. 32 SRUERS Labopol - 5 [8]	31
Obr. 33 Znázornění umístění vpichu měření [16]	32
Obr. 34 Grafická závislost tvrdosti na vzdálenosti vpichu DUIT CS [8]	32
Obr. 35 Znázornění umístění vpichu měření [16]	33
Obr. 36 Grafická závislost tvrdosti na vzdálenosti vpichu DURIT Ni A [8].....	33
Obr. 37 Označení místa z makrostruktury [16].....	34
Obr. 38 Makrostruktura DURIT CS při 40x zvětšení [8]	34
Obr. 39 Označení místa z makrostruktury [16].....	34
Obr. 40 Makrostruktura DURIT Ni A při zvětšení [8]	35
Obr. 41 Znázornění místa nanesených pájek [16].....	35
Obr. 42 DURIT CS, TOO, 200x zvětšení [8].....	36
Obr. 43 DURIT Ni A, TOO, 200x zvětšení [16].....	36
Obr. 44 DURIT CS, pájka, 400x zvětšení [8]	37
Obr. 45 DURIT Ni A, pájka, 100x zvětšení [16]	37
Obr. 46 Makrostruktura DURIT CS, 36x zvětšení, SE [8]	38
Obr. 47 Detail C, Shluk pórů, 142x zvětšení DURIT CS, SE [16]	39
Obr. 48 Makrostruktura DURIT CS, 36x zvětšení, BSE[8].....	39
Obr. 49 Mikrostruktura, pájka, DURIT Ni A, 600x zvětšení, BSE [8].....	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti acetylenu [11]	13
Tab. 2 Chemické složení oceli S355 [%] [11]	18
Tab. 3 Způsob rozeznání teploty předehřevu dle barvy oceli [5].....	20
Tab. 4 Vlastnosti karbidu wolframu [24]	22
Tab. 5 Všeobecný přehled vlastností DURIT CS [11].....	24
Tab. 6 Všeobecný přehled vlastností DURIT Ni A [11].....	25
Tab. 7 Rozsah kvalifikace pro ZM [5]	26
Tab. 8 Celkový přehled výsledků tvrdosti [24].....	33

SEZNAM PŘÍLOH

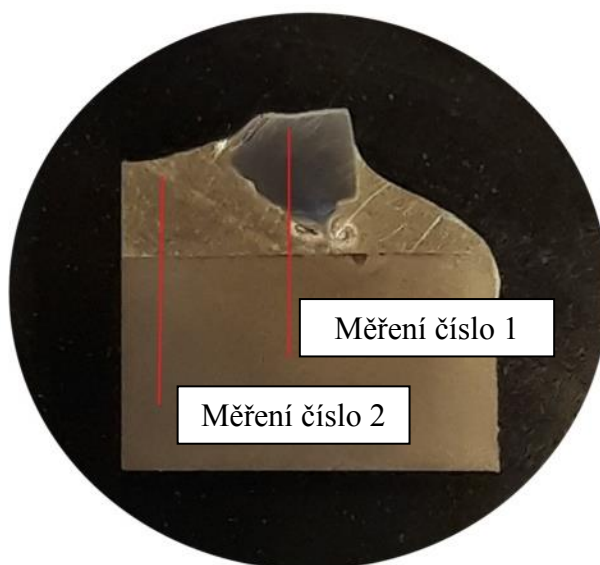
- Příloha 1 Naměřené hodnoty tvrdosti DURIT CS
- Příloha 2 Naměřené hodnoty tvrdosti DURIT Ni A
- Příloha 3 Porovnání měření 1 a 2 DURIT CS, tvrdost
- Příloha 4 Porovnání měření 1 a 2 DURIT Ni A, tvrdost
- Příloha 5 Plošná analýza DURIT CS
- Příloha 6 Liniová analýza mezi WC a pájkou DURIT CS
- Příloha 7 Liniová analýza TOO DURIT CS
- Příloha 8 Bodová analýza DURIT CS
- Příloha 9 Plošná analýza DURIT Ni A
- Příloha 10 Liniová analýza mezi WC a pájkou DURIT Ni A
- Příloha 11 Liniová analýza TOO DURIT Ni A
- Příloha 12 Materiálový list DURIT CS [19]
- Příloha 13 Materiálový list DURIT Ni A [19]
- Příloha 14 Materiálový list oceli S 355 (ČSN 11 523) [19]
- Příloha 15 Jednotlivé místa snímků z mikrostruktury DURIT CS
- Příloha 16 Jednotlivé místa snímků z mikrostruktury DURIT Ni A

SEZNAM VÝKRESŮ

Odkorňovací nůž BP-01

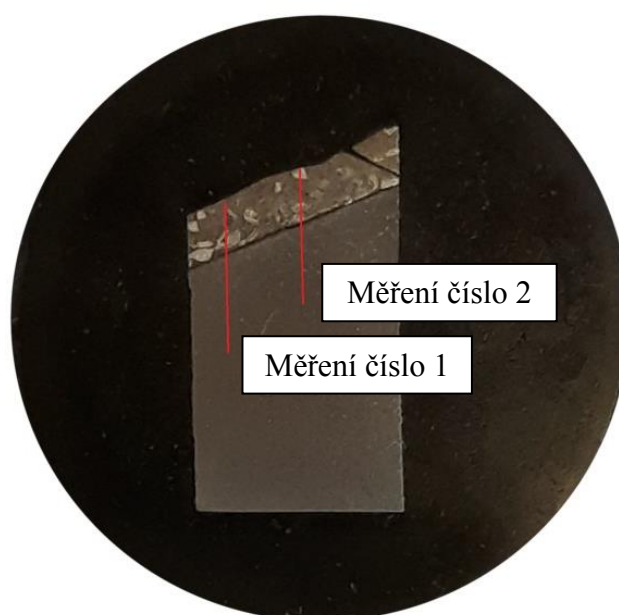
Naměřené hodnoty tvrdosti

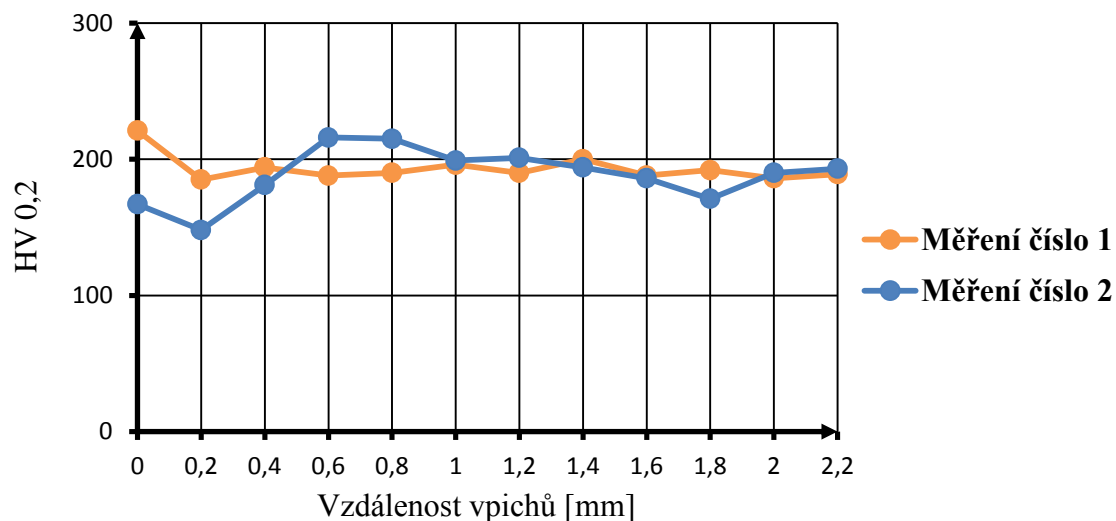
Měření číslo 1	WC		ZM		Pájka		Měření číslo 2.	Pájka		ZM	
	h	HV0,2	h	HV0,2	h	HV0,2		h	HV0,2	h	HV0,2
	0,2	2019	5,8	221	4,2	154		0,2	154	3,8	167
	0,4	2013	6	185	4,4	146		0,4	180	4	148
	0,6	1826	6,2	194	4,6	117		0,6	153	4,2	181
	0,8	1302	6,4	188	4,8	145		0,8	149	4,4	216
	1	1988	6,6	190	5	118		1	131	4,6	215
	1,2	1852	6,8	196	5,2	124		1,2	148	4,8	199
	1,4	1959	7	190	5,4	152		1,4	161	5	201
	1,6	1498	7,2	200	5,6	123		1,6	150	5,2	194
	1,8	1995	7,4	188				1,8	140	5,4	186
	2	2075	7,6	192				2	152	5,6	171
	2,2	1925	7,8	186				2,2	145	5,8	190
	2,4	2008	8	189				2,4	152	6	193
	2,6	1975						2,6	144		
	2,8	1914						2,8	149		
	3	2032						3	145		
	3,2	1903						3,2	136		
	3,4	2069						3,4	154		
	3,6	2037						3,6	134		
	3,8	1790									
	4	1425									



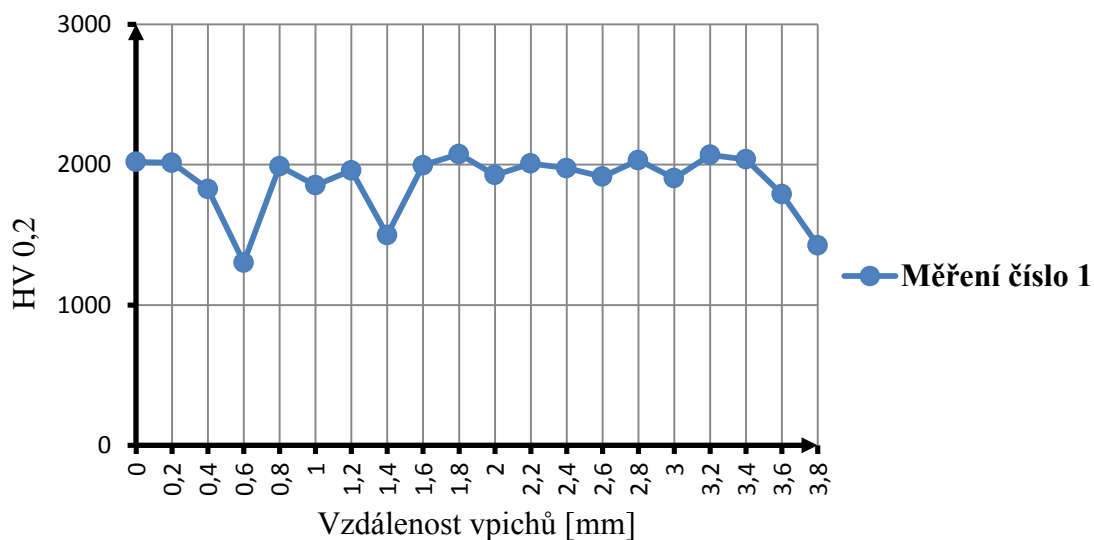
Naměřené hodnoty tvrdosti

	ZM		WC		Pájka			ZM		Pájka		WC	
	h	HV0,2	h	HV0,2	h	HV0,2		h	HV0,2	h	HV0,2	h	HV0,2
Měření číslo 1	2,6	223	0,2	2765	1,8	359	Měření číslo 2	2,4	211	0,2	292	1,2	2510
	2,8	180	0,4	3403	2	334		2,6	196	0,4	276	1,6	2314
	3	199	0,6	3746	2,2	364		2,8	185	0,6	303	1,8	3116
	3,2	189	0,8	2920	2,4	361		3	196	0,8	271	2	2375
	3,4	221	1	1884				3,2	202	1	282		
	3,6	194	1,2	1177				3,4	188	1,2	367		
	3,8	187	1,4	2941				3,6	175	1,4	249		
	4	213	1,6	2023				3,8	188	2,2	365		
	4,2	195						4	175				
	4,4	187						4,2	181				
	4,6	213						4,4	189				
	4,8	195						4,6	196				
	5	187						4,8	180				
	5,2	185						5	155				
	5,4	202						5,2	191				
								5,4	201				
								5,6	213				
								5,8	175				
								6	176				
								6,2	163				

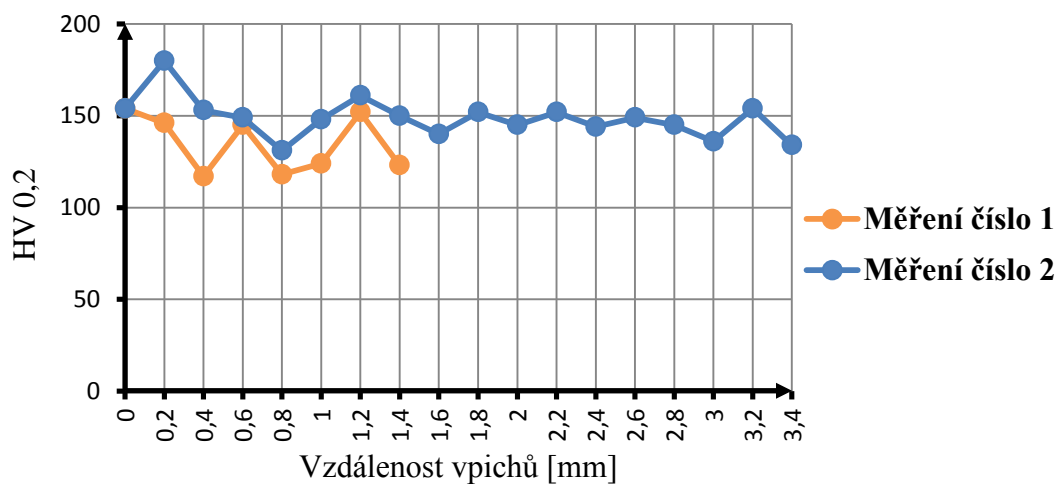




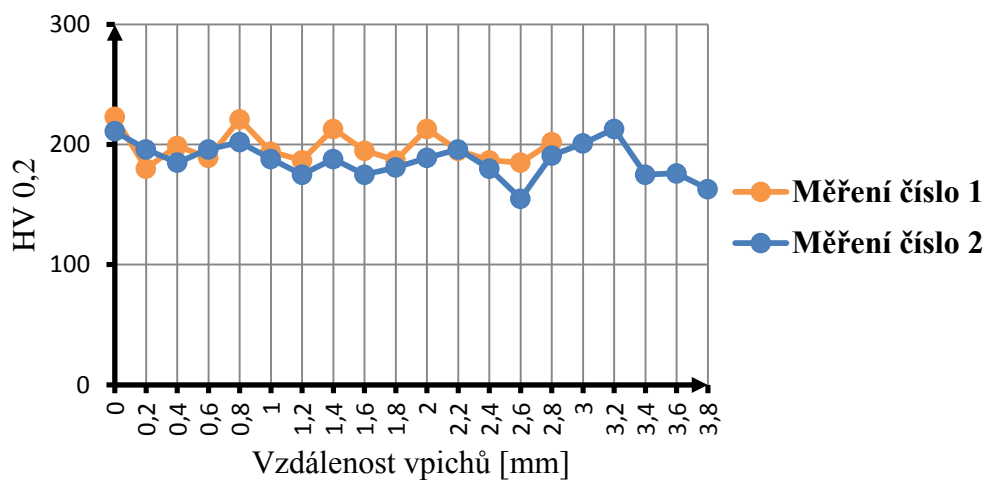
Základní materiál



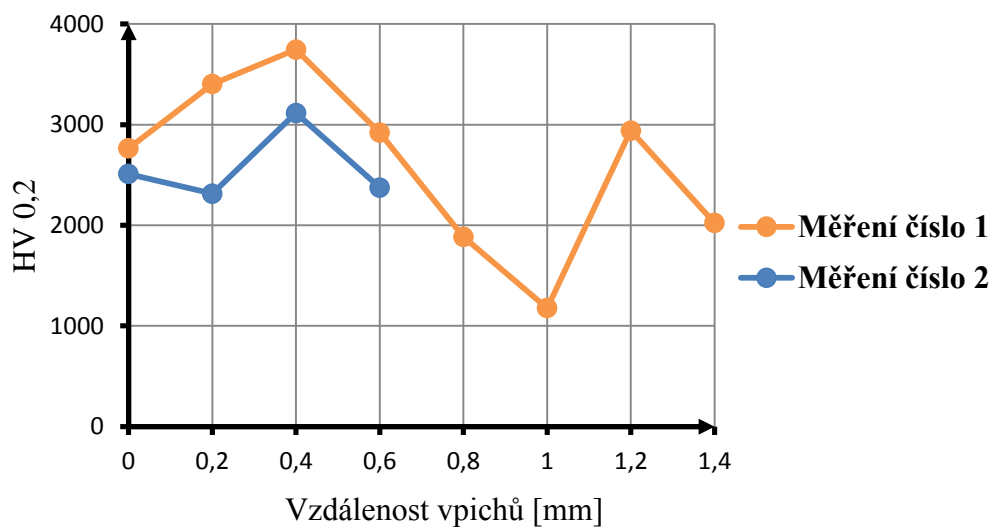
Wolfram karbid



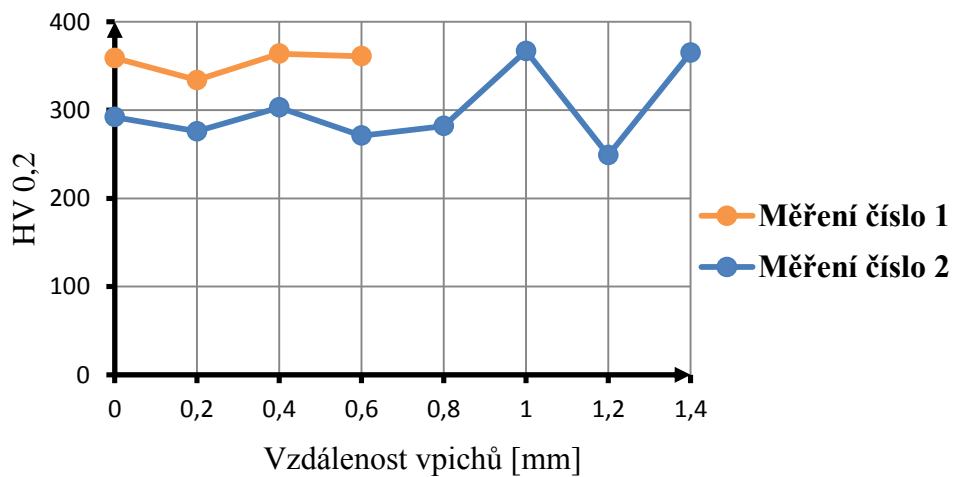
Pájka



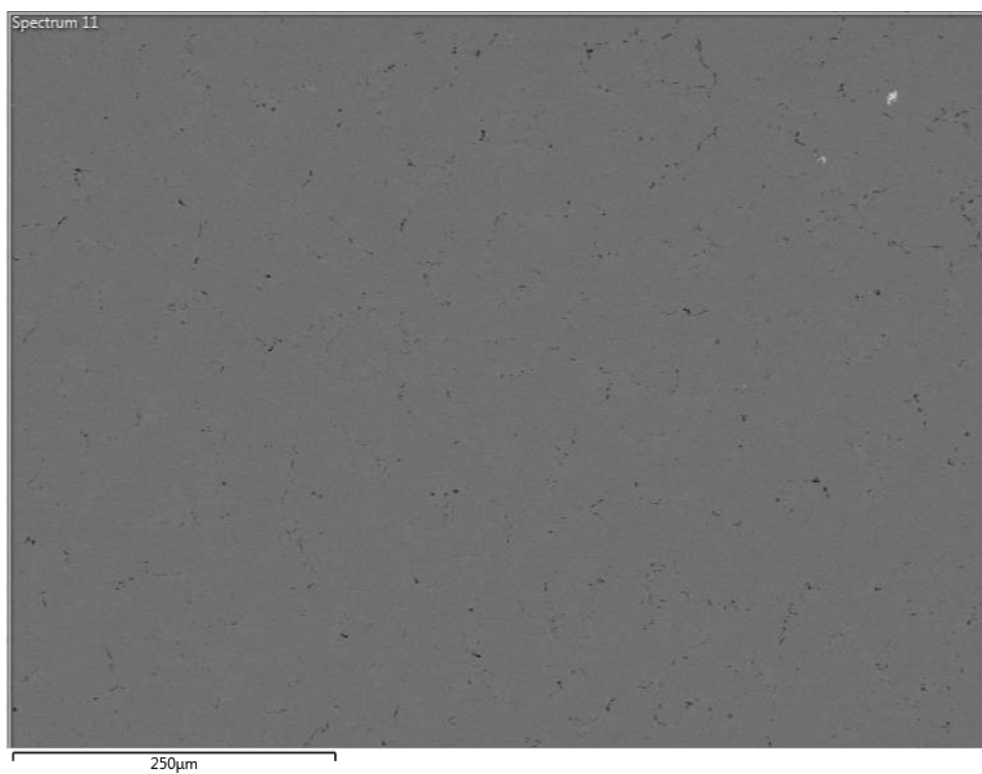
Základní materiál



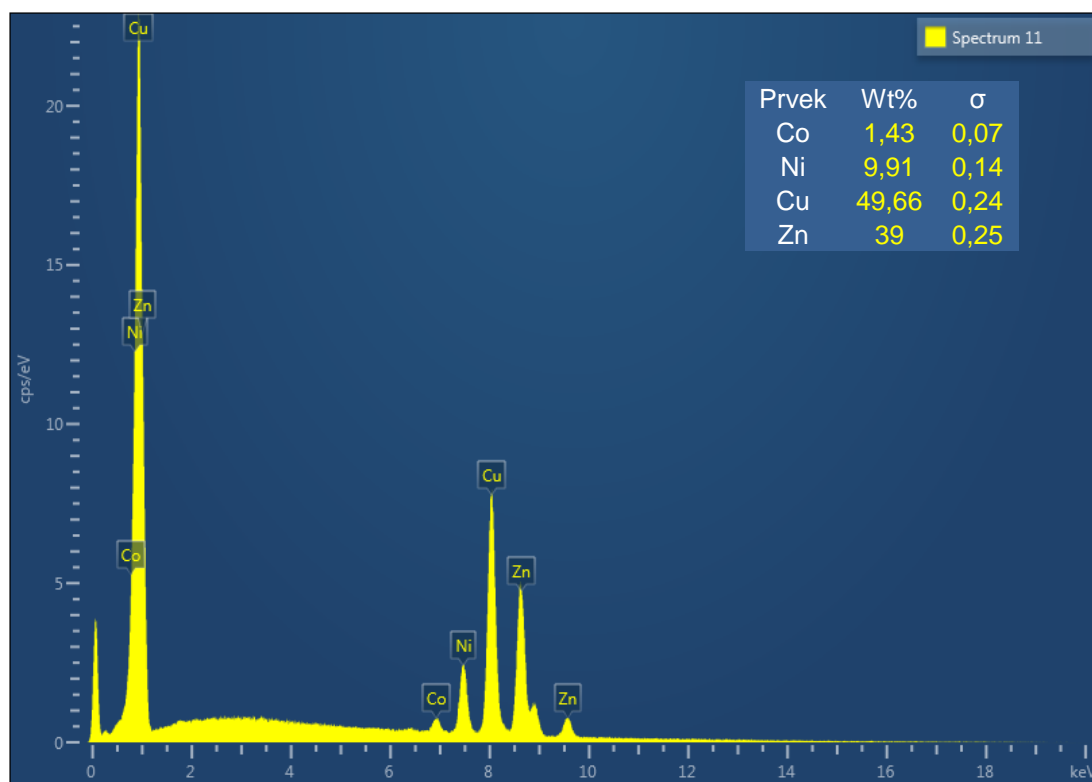
Wolfram karbid



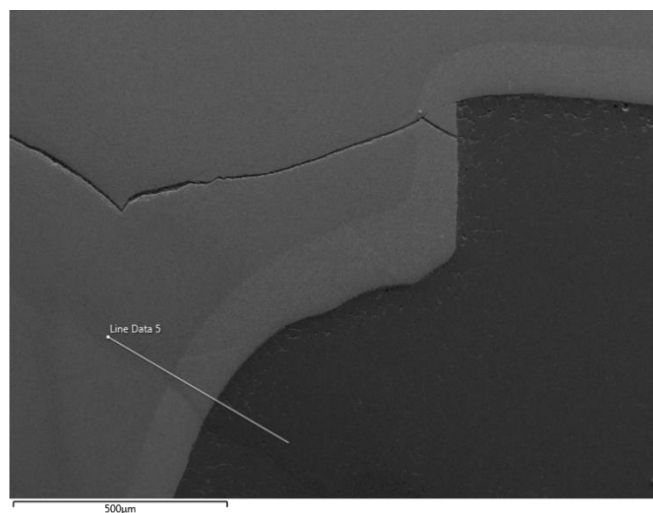
Pájka



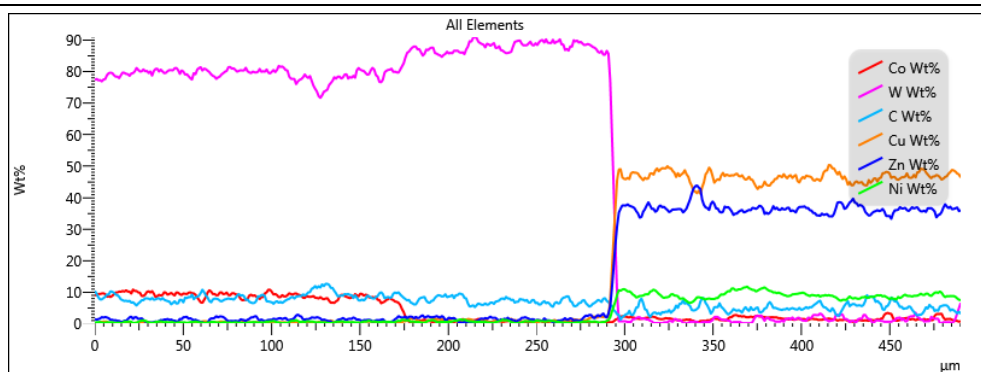
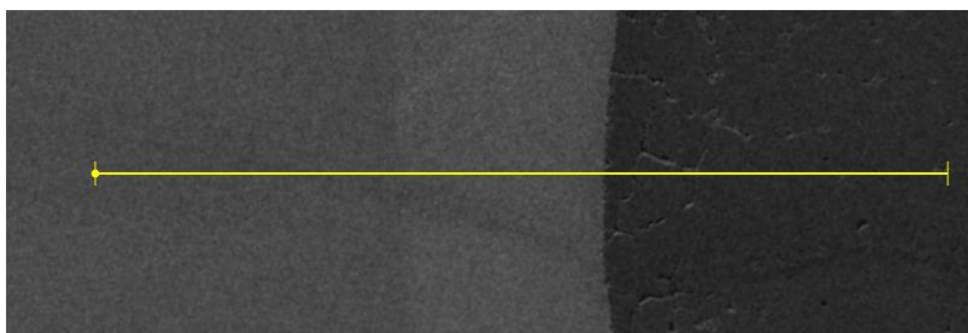
Plošná analýza



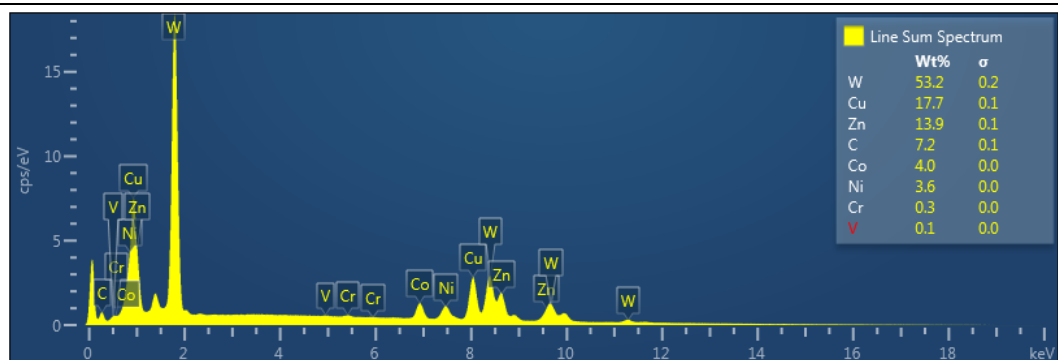
Chemické složení



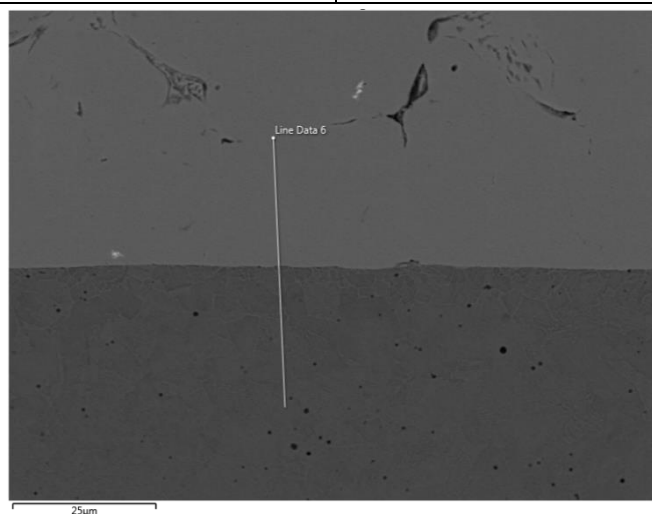
Liniová analýza mezi WC a pájkou



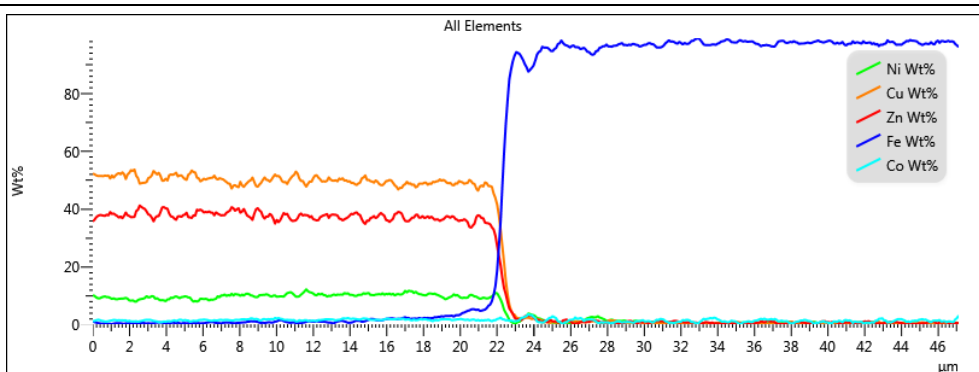
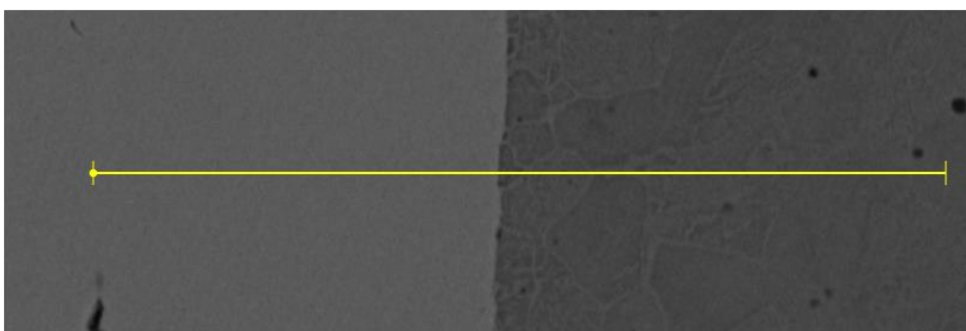
Procentuální zastoupení prvku v závislosti na linii



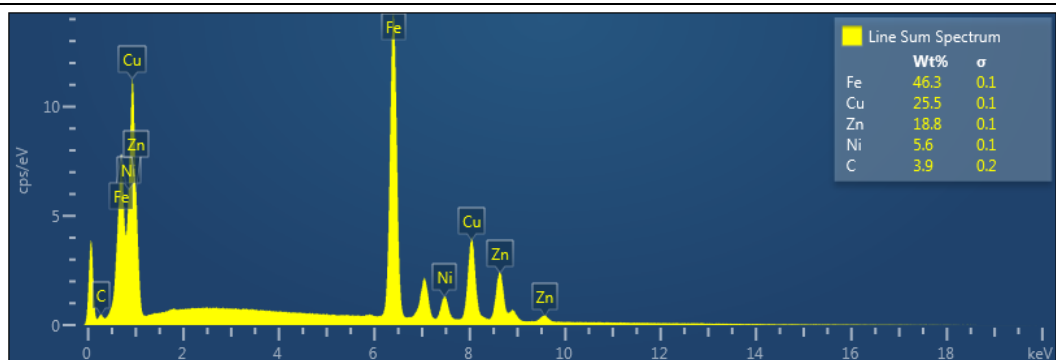
Chemické složení



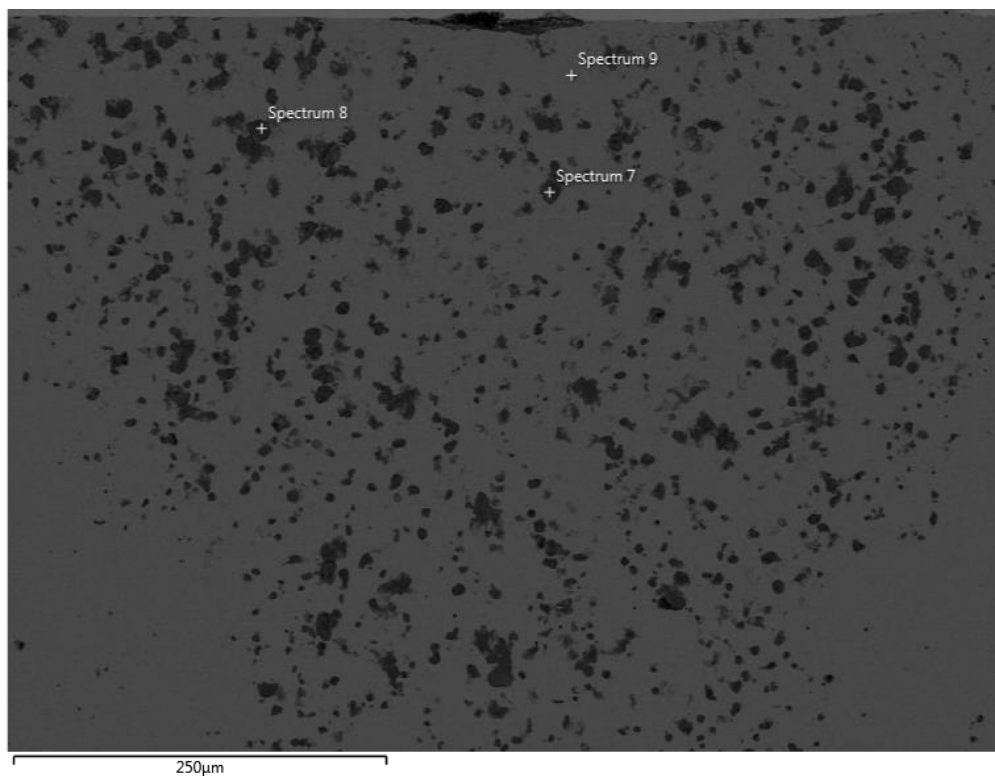
Liniová analýza TOO



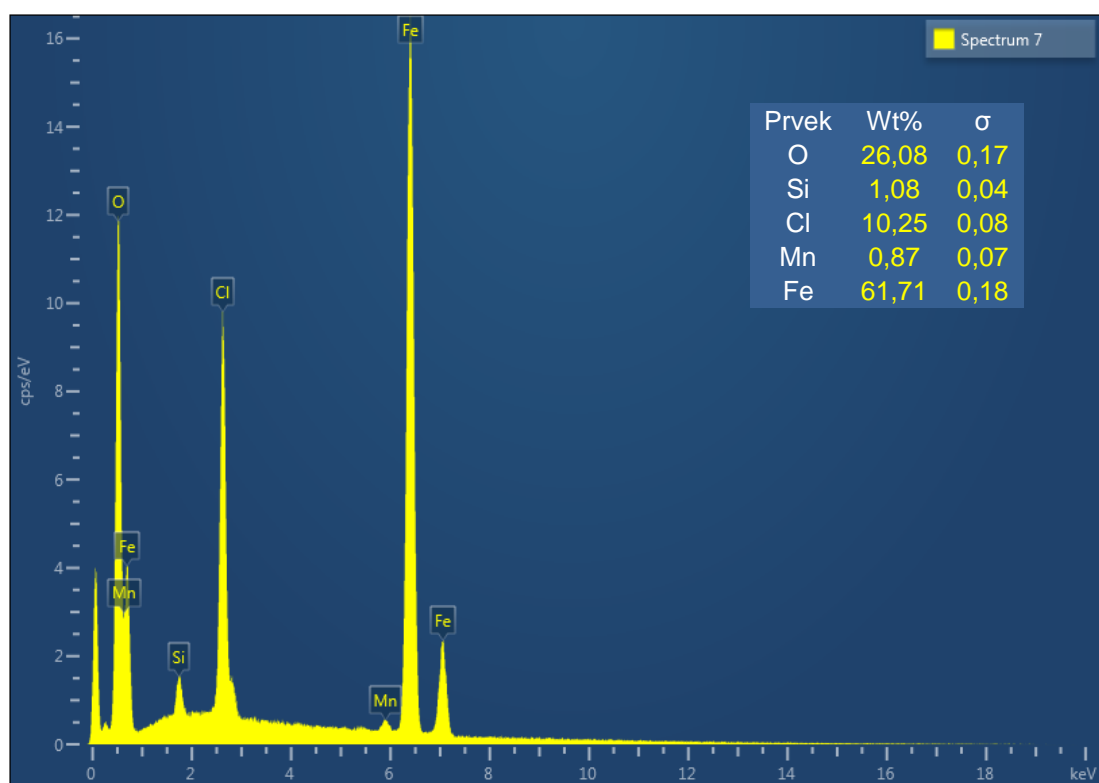
Procentuální zastoupení prvku v závislosti na linii



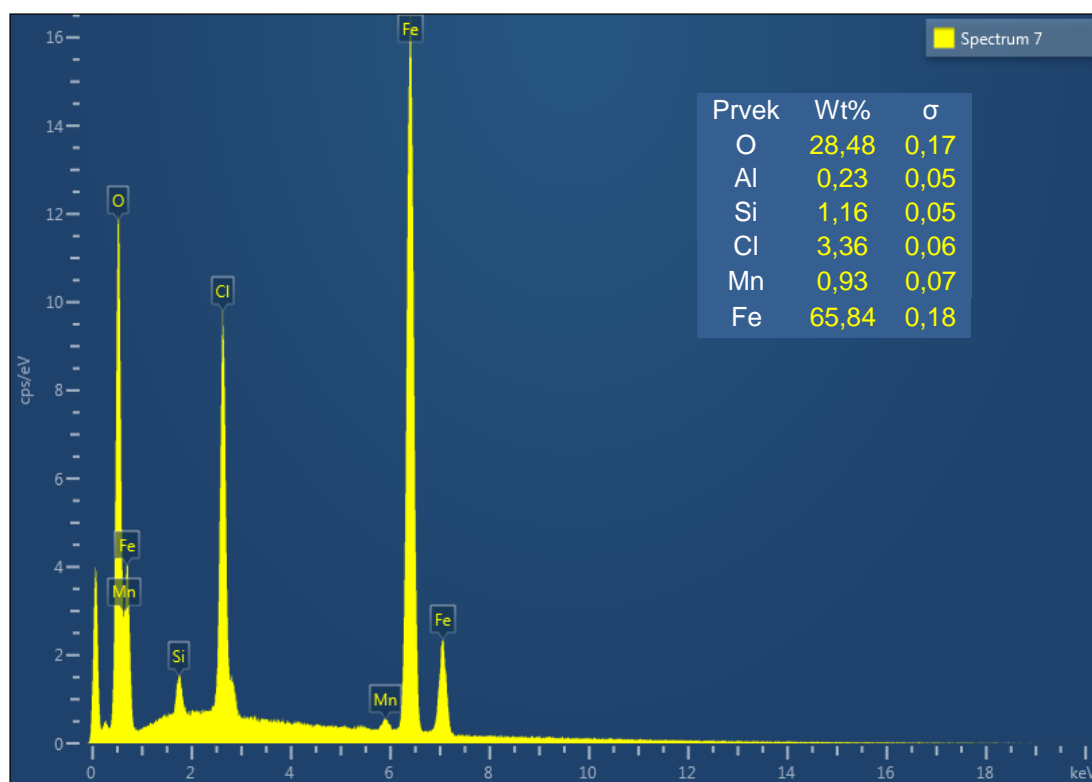
Chemické složení



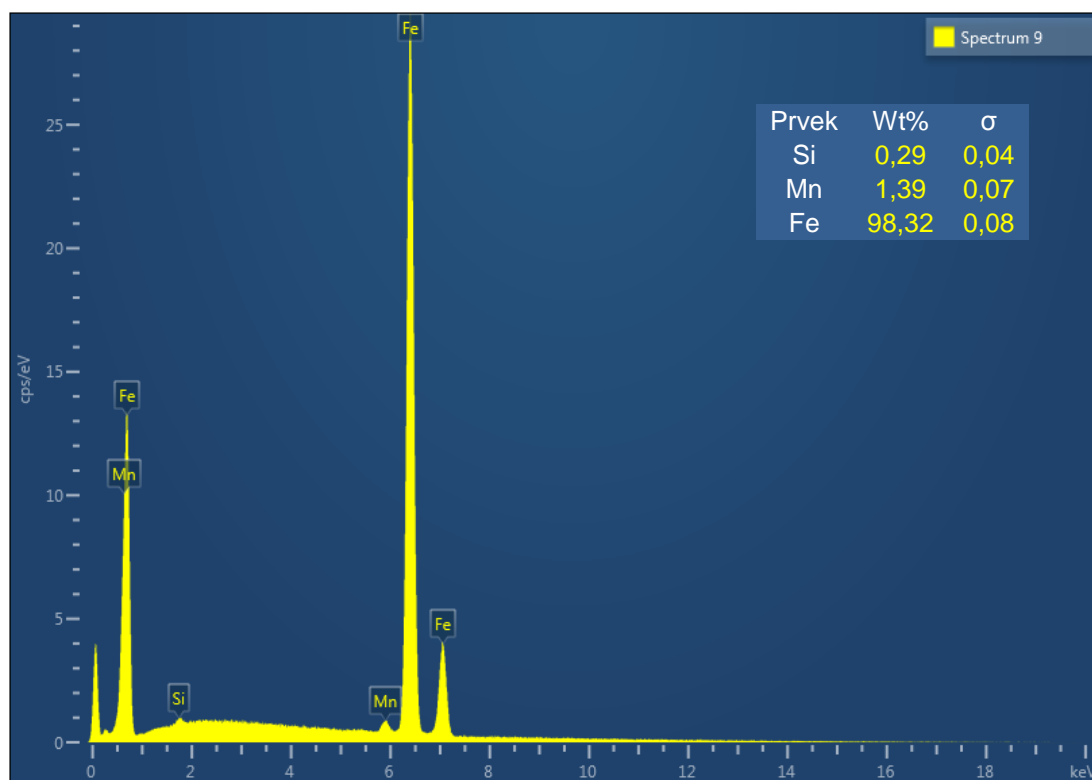
Bodová analýza ZM



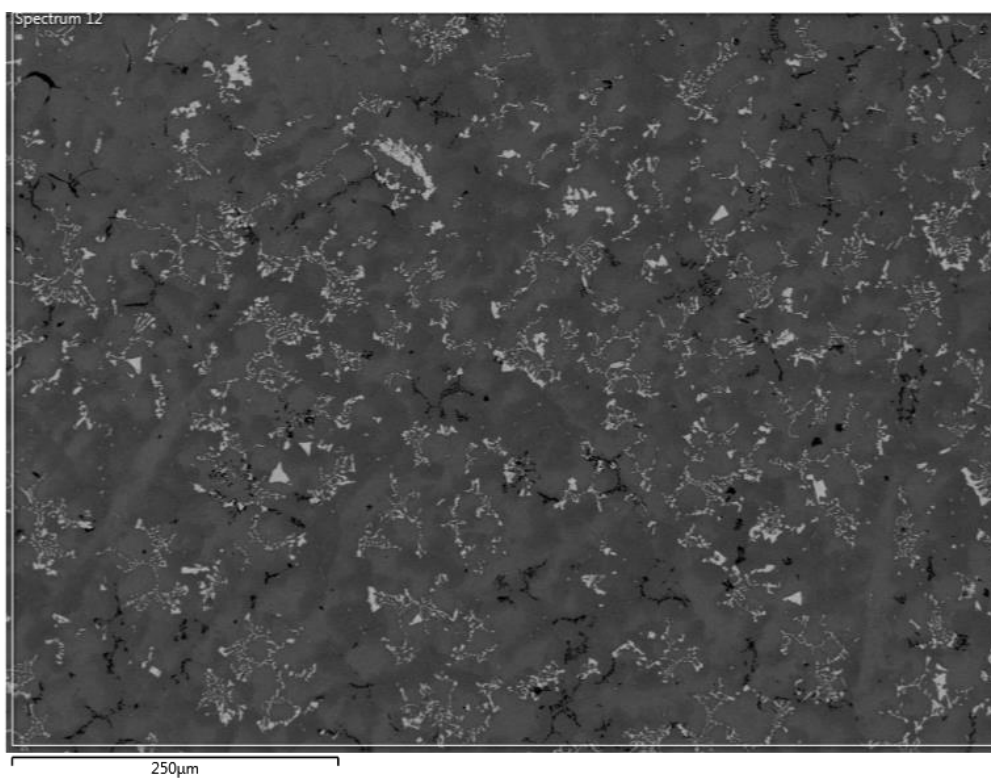
Bod 7



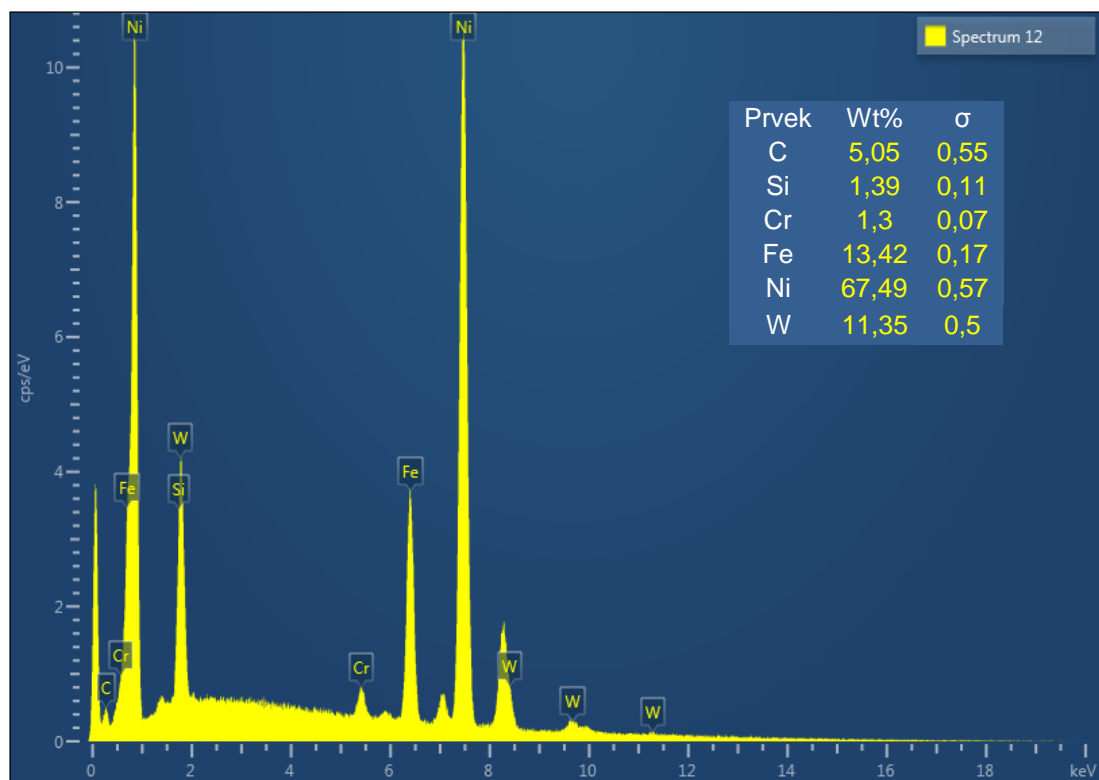
Bod 8



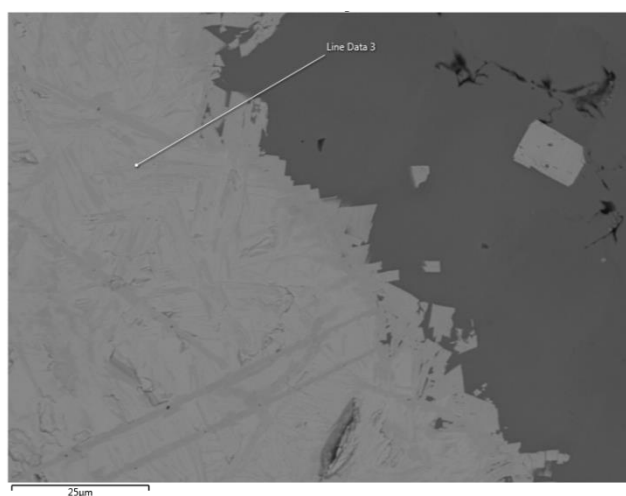
Bod 9



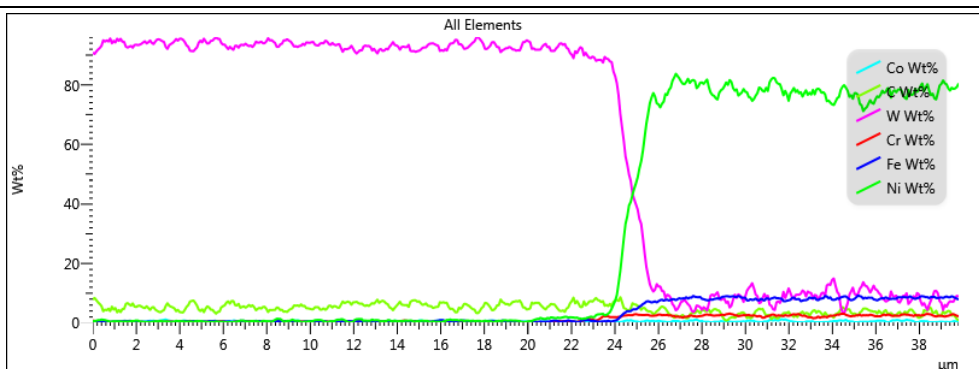
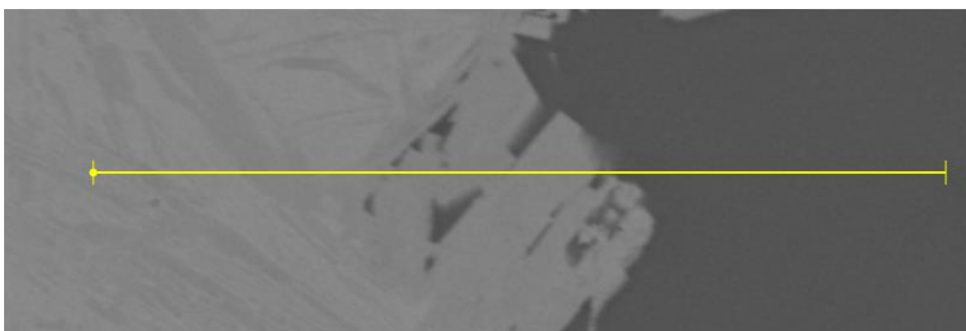
Plošná analýza



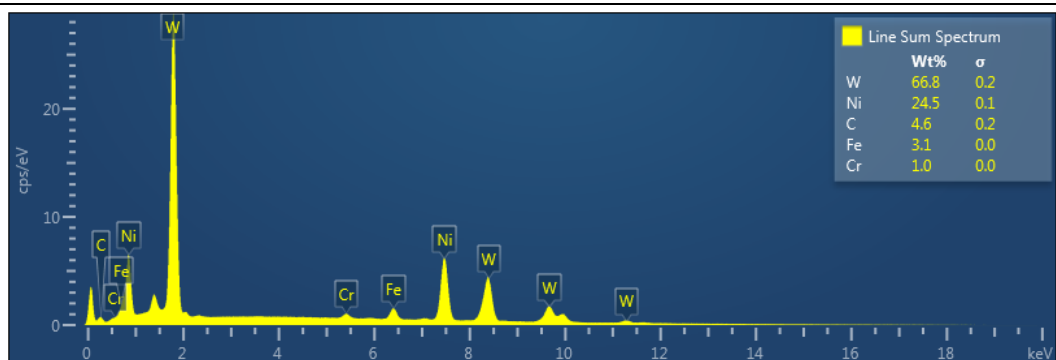
Chemické složení



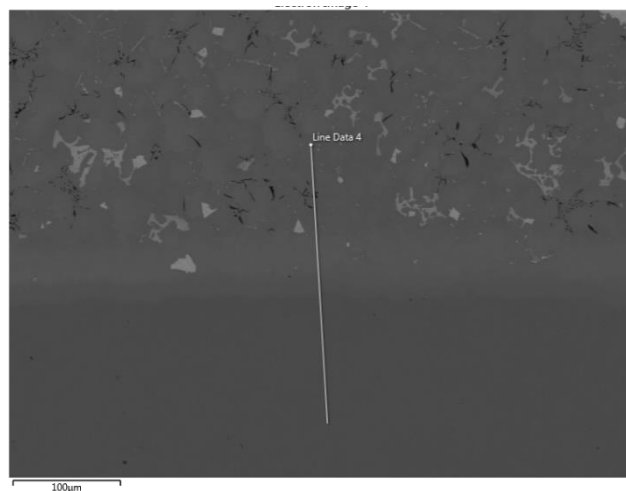
Liniová analýza mezi WC a pájkou



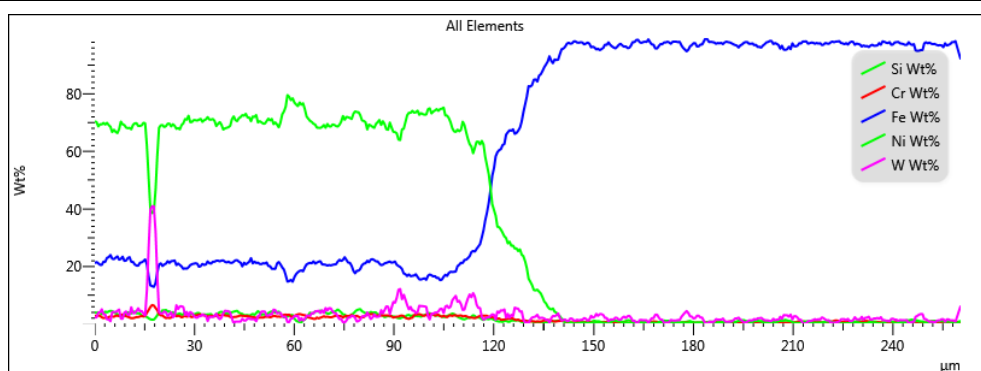
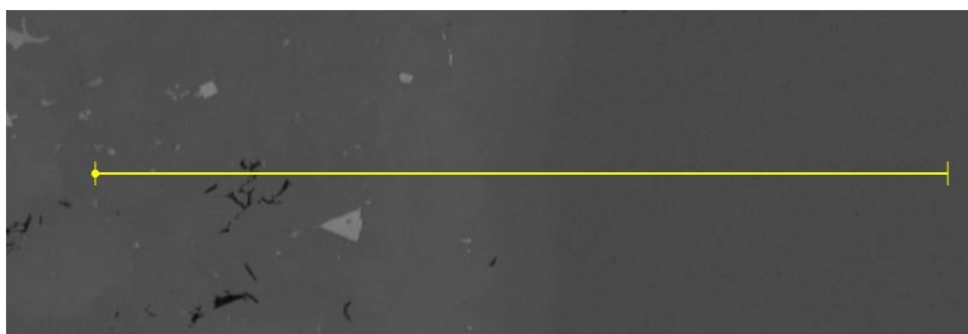
Procentuální zastoupení prvku v závislosti na linii



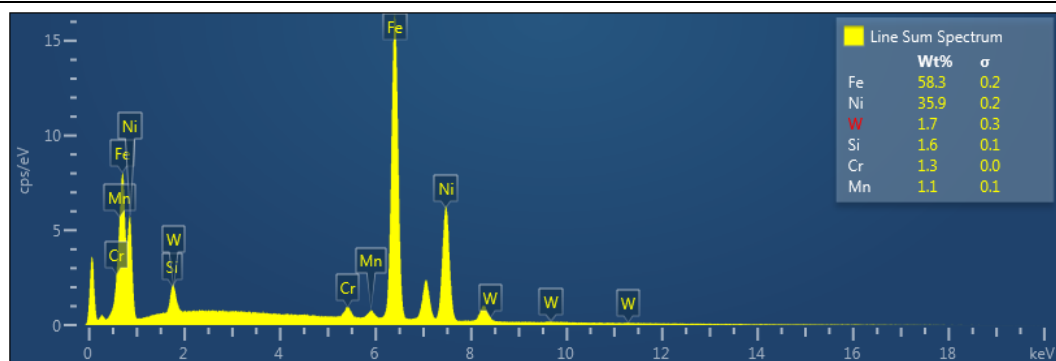
Chemické složení



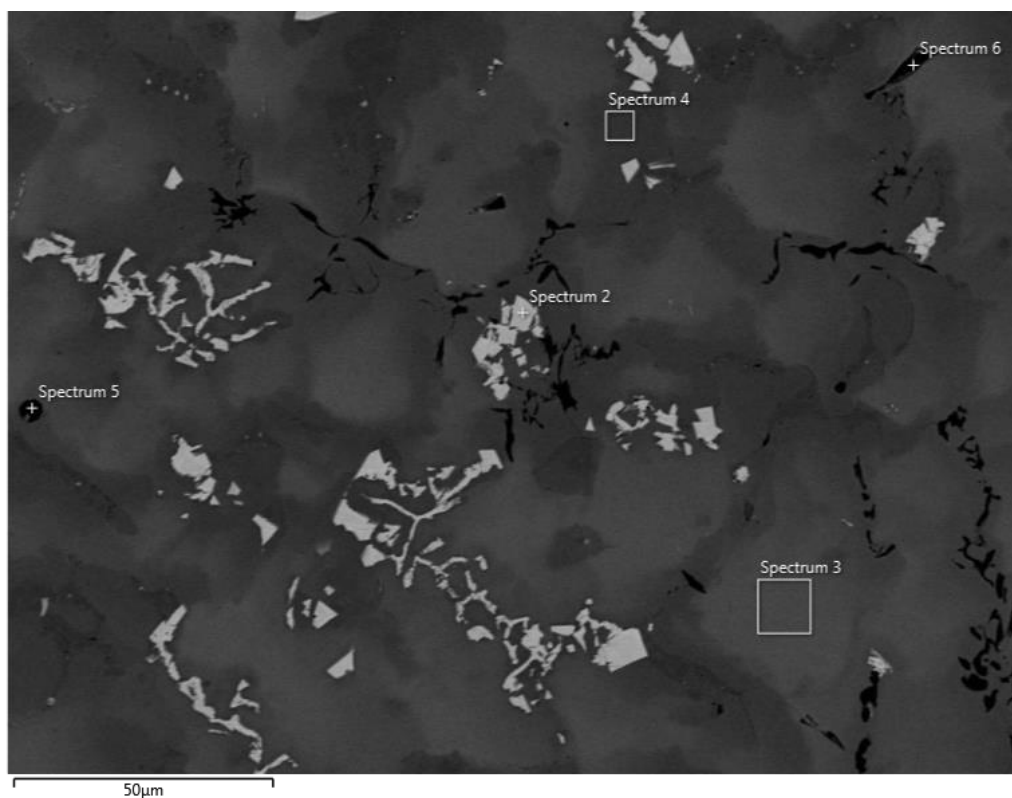
Liniová analýza TOO



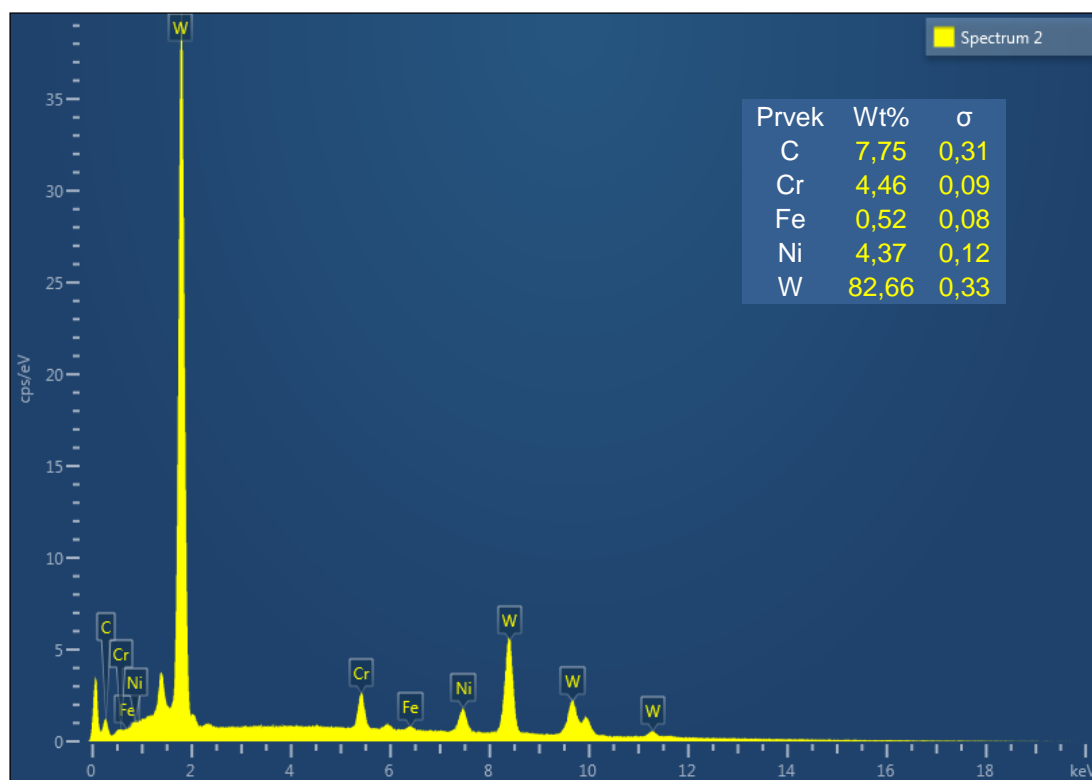
Procentuální zastoupení prvku v závislosti na linii



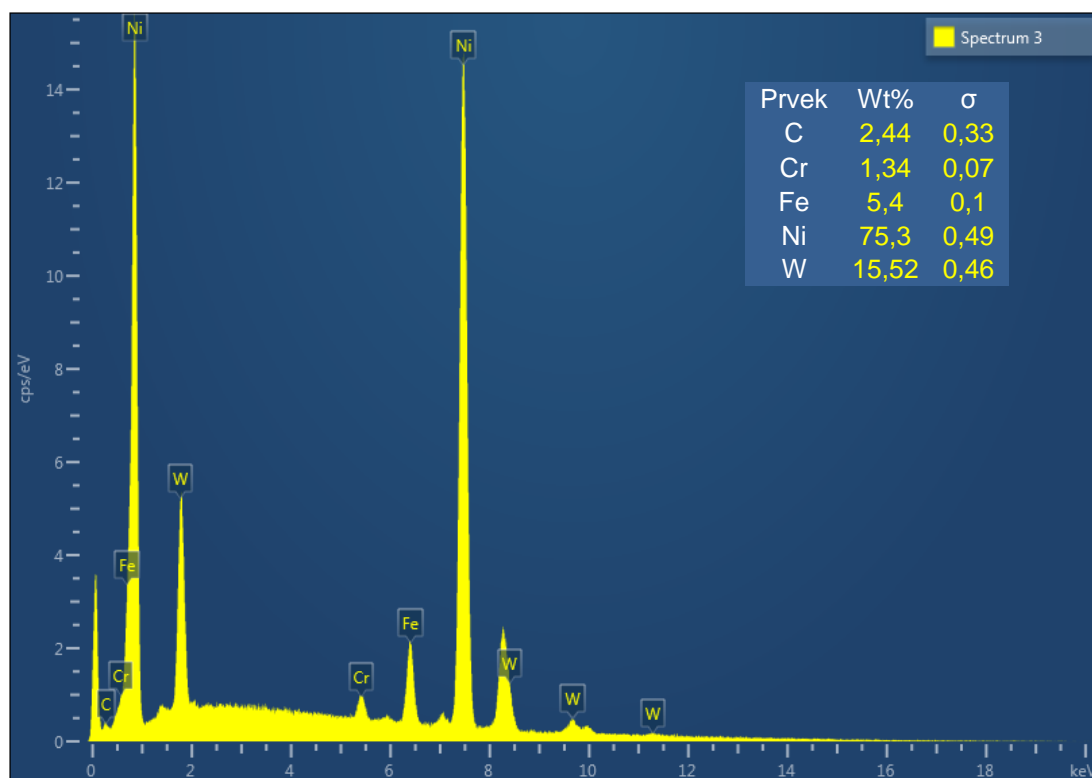
Chemické složení



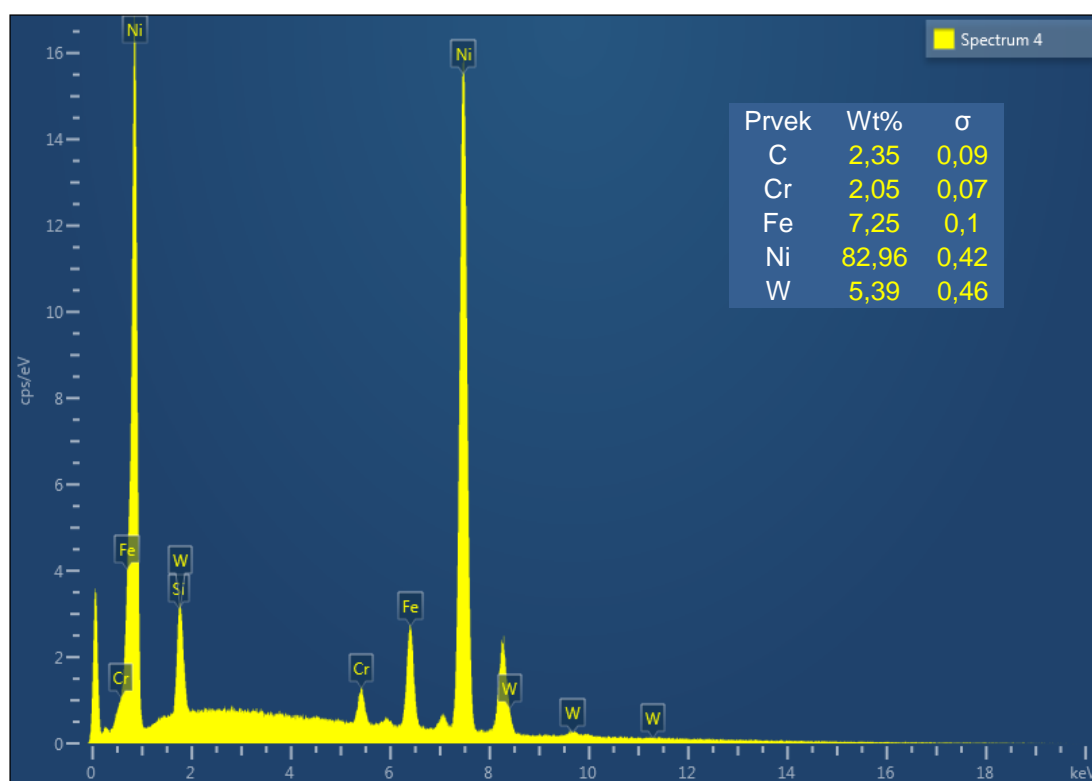
Bodová analýza pájka



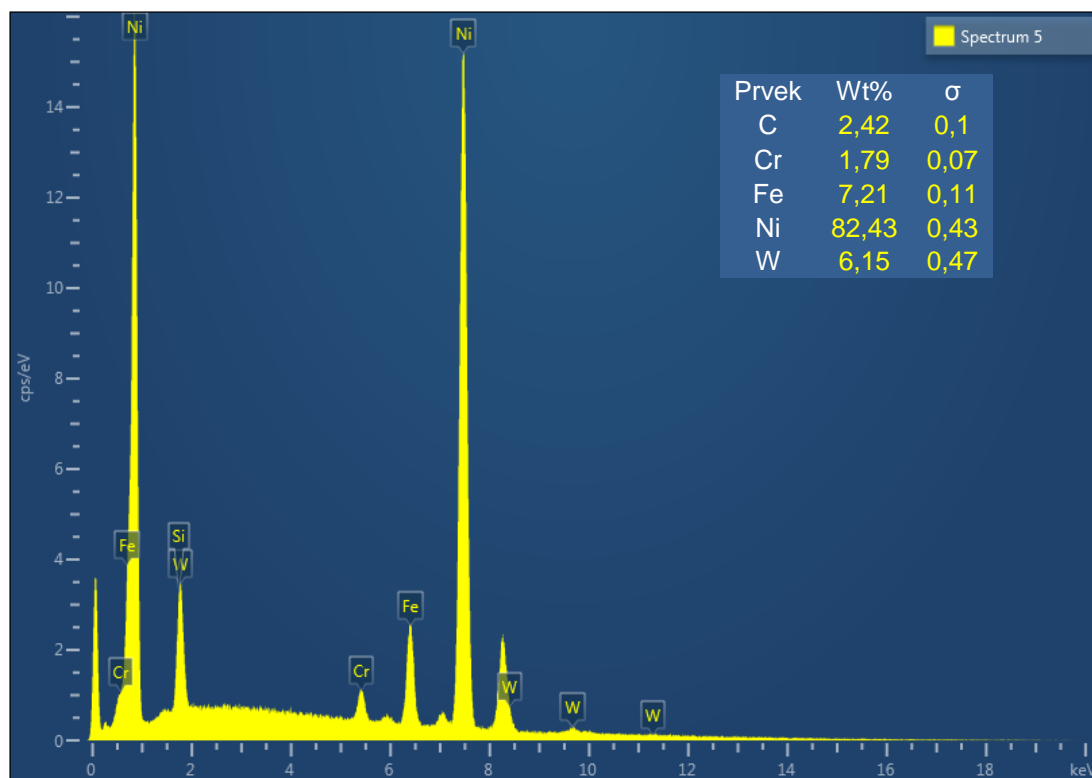
Bod 2



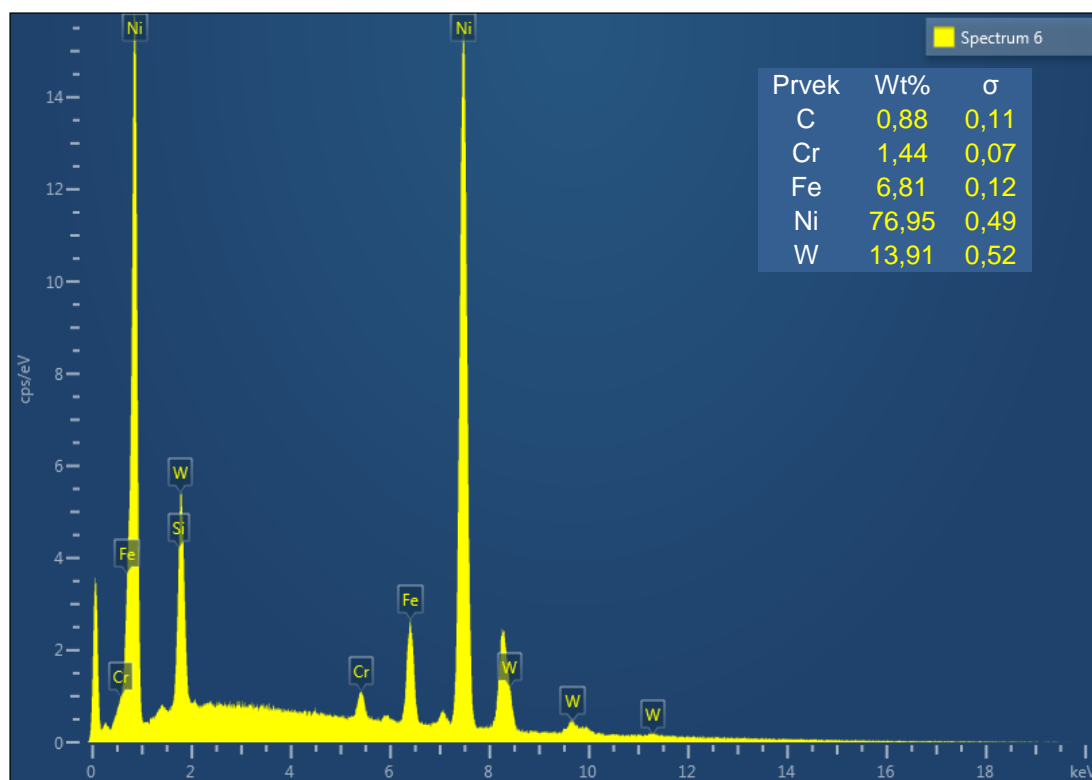
Bod 3



Bod 4



Bod 5



Bod 6

Materiálový list DURIT CS



Materiálový list



Durit CS

Strana 1/1

SKUPINA: Slitiny wolfram karbidů

METODA: Pájení a navařování plamenem

TYP: Nánosové pájení

NORMY: AWS A5.27 : RBCuZn-A

JINÉ: ASME SFA 5.8: RBCuZn-D

VÝROBCE: Zander Schweissttechnik

MATERIÁLY: Speciální tyče pro nanášení wolfram-karbidu pájením plamenem. Tyče z CuNiZn matrice z vloženými, sintrovanými zrny wolfram-karbidu pro nánosové tvrdé pájení povlaků odolných v těžkých podmínkách abraze s vloženými zrny WC. Teplota tání pájky 915°C, interval 10°C, teplota solidu pájky 905°C, pevnost matrice v tahu 510N/mm². Excelentní smáčivost matrice.

POUŽITÍ: Pancéřování vrtných korunek pro hlubinné vrty a sondy, čelní frézy dobývacích strojů, odkorňovače ve dřevozpracujícím průmyslu aj.

CHEMICKÉ SLOŽENÍ

Si	Ni	Cu	Zn
0,10	10	48	res.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI

40% matrice - 74 [HRB], 60% zrn WC - 2 600 [HV]


POLOHY:




PRŮMĚRY A BALENÍ

Objednací číslo	Průměr	Balení
WCSB16-32-3	velikost zrna WSC 1,6 - 3,2 mm	450 mm / 5 kg
WCSB95-110-3	velikost zrna WSC 9,5 - 11 mm	450 mm / 5 kg
WCSG32-48-3	velikost zrna WSC 3,2 - 4,8 mm	450 mm / 5 kg
WCSR64-80-3	velikost zrna WSC 6,4 - 8,0 mm	450 mm / 5 kg
WCSW80-95-3	velikost zrna WSC 8,0 - 9,5 mm	450 mm / 5 kg
WCSY48-64-3	velikost zrna WSC 4,8 - 6,4 mm	450 mm / 5 kg

Materiálový list DURIT Ni A



Materiálový list



Klaus Zander
 Schweiß- & Schleiftechnik
Herstellung und Vertrieb von Schweißzusatzstoffen

Durit Ni A
Strana 1/1

SKUPINA:	Slitiny wolfram karbidů
METODA:	Pájení a navařování plamenem
TYP:	Navařování wolframkarbidu plamenem
NORMY:	EN 14700 : T Ni20
JINÉ:	DIN 8555 : G 21-GF-50- GZ
VÝROBCE:	Zander Schweissttechnik
MATERIÁLY:	Trubičková elektroda, plněná spékaným wolfram-karbidem (FTC). Návar je tvořen Ni-Cr-B-Si matricí s vloženým FTC. Navařovat lze na feritické a austenitické oceli a odlitky. Návar neprovádět oxidačním plamenem (přebytek kyslíku.) Velikost vložených zrn FTC v matrici je 0,25 - 0,84 mm (jiné zrnitosti na vyžádání), díky matrici je nízká pracovní teplota 900°- 1050°C s vynikající smáčivostí.
POUŽITÍ:	Keramický průmysl, zpracování písků a minerálů, chemický průmysl, petrochemický průmysl, dopravní šneky a díly odolné otěru a korozi. návar je odolný otěru i v korozním prostředí, např. kyseliny apod.

CHEMICKÉ SLOŽENÍ

WC	NiCrBSi
65	35

MECHANICKÉ VLASTNOSTI

TVRDOST:	Matrice - 48 [HRC], WC - 2 360 [HV]
POLOHY:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">PA</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">PB</div> </div>

PRŮMĚRY A BALENÍ

Objednáací číslo	Průměr	Balení
	4 x 700 mm	5 kg
	5 x 700 mm	5 kg
	6 x 700 mm	5 kg

Wirpo s.r.o., Škrobárenská 518/16 - Hala B8, 617 00 Brno, tel.: +420 543 250 727, wirpo@wirpo.cz, www.wirpo.cz

Příloha 15

Materiálový list oceli S 355 (ČSN 11523)

ČSN 11523 – konstrukční ocel



1. Orientační srovnání se zahraničními normami

DIN	EN 10027-1	EN 10027-2	EN 10025:90	GOST
St52-3	S35530	1.0553	Fe510C1	17GS

2. Chemické složení (rozběr tavby) v %

C	Mn	Si	P	S	N	Al
max. 0,200	max. 1,600	max. 0,550	max. 0,050	max. 0,045		max. 0,015

3. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]		510 - 680
Mez kluzu R_e [MPa]		min. 355
Tažnost A_{10} [%]		min. 22

4. Charakteristika oceli a příklady použití

Mostní a jiné svařované konstrukce, součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součásti tepelných energetických zařízení a tlakových nádob.